

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Сборник трудов
Международной научно-практической
конференции**

**11-12 декабря 2014 года
Юрга**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

11-12 декабря 2014 года

Томск 2014

УДК 62.002(063)
ББК 34.4л0
А43

А43 **Актуальные проблемы современного машиностроения:** сборник трудов Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 481 с.

ISBN 978-5-4387-0514-7

Сборник содержит материалы Международной научно-практической конференции по актуальным проблемам в сварочном производстве, машиностроении, металлургии, экологии и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических и экономических специальностей.

УДК 62.002(063)
ББК 34.4л0

Ответственный редактор
Д.А. Чинахов

Редакционная коллегия
Д.В. Валуев
В.М. Гришагин
Е.А. Зернин
А.А. Моховиков
А.А. Сапрыкин
Е.Г. Фисоченко

ISBN 978-5-4387-0514-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЛЕНТЕ КОНВЕЙЕРА

Савичева С.В. 11

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Сапрыкин А.А., Дудихин Д.В., Бабакова Е.В. 14

ВОЛОКНО-УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Сапрыкин А.А., Бабакова Е.В., Ибрагимов Е.А. 17

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СНАБЖЕНИЕМ В МНОГОПРОФИЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЯХ, РАБОТАЮЩИХ НА РЫНКАХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Антонов Г.Д., Иванова О.П. 20

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СЕТЕВЫХ И ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР В МАШИНОСТРОЕНИИ

Антонов Г.Д., Иванова О.П. 24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЯ В РАМКАХ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА НА СТАДИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА

Косолец А.В., Нестерук Д.Н. 30

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Некрасов Р.Ю., Стариков А.И., Соловьёв И.В. 34

МОНИТОРИНГ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Мещеряков Я.Е., Кориков А.М. 38

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А. 42

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ МОМЕНТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Саттарова К.Т., Кокарева В.В., Проничев Н.Д. 46

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ УСТАНОВКА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Дрелих И.В. 48

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ АВТОНОМНЫХ БЛОКОВ В ИЗДЕЛИЯХ, ЗАЛИТЫХ КОМПАУНДАМИ

Артамонов Д.В., Литвинов А.Н. 51

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ МИКРОТОМОГРАФОВ

Изоткина Н.Ю., Осипов Ю.М., Сыряжкин В.И., Трифонов В.А. 55

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Григорьева Е.Г., Чинахов Д.А. 59

СЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ КАК СРЕДСТВО УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ СПЕКТРОМ СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ ЦАПФЫ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ И УРОВНЕМ ЗАГРУЗКИ ЕЕ БАРАБАНА <i>Еременко Ю.И., Полеценко Д.А., Глуценко А.И.</i>	63
КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНТУРНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ВНЕШНЕГО ДВИЖИТЕЛЯ ГЕОХОДА <i>Аксёнов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н.</i>	68
МЕТОД ИНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ <i>Пестов С.П.</i>	73
МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ О КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ <i>Цеплит А.П., Григорьева А.А.</i>	75
РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДА НЕЛИНЕЙНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ <i>Инденко О.Н.</i>	81
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКЦИИ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ СОПУТСТВУЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК <i>Панова Н.В.</i>	83
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГЕОХОДА С НОЖЕВЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ <i>Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю., Ефременков А.Б.</i>	86
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИЛАТАНСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ <i>Ревуженко А.Ф., Клишин С.В., Бегляков В.Ю.</i>	90
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ СЛАБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ <i>Ревуженко А.Ф., Косых В.П., Блащук М.Ю.</i>	94
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С УЧЁТОМ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ <i>Лавриков С.В., Ревуженко А.Ф., Казанцев А.А.</i>	97
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА С УЗЛАМИ КРЕПЛЕНИЯ НА ТРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ <i>Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю., Воробьев А.В.</i>	105
НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЧЕТЫРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ МЕЖДУ АКСИАЛЬНЫМИ КОРОНКАМИ <i>Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю., Воробьев А.В.</i>	110
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА С ГЕОСРЕДОЙ <i>Садовец В.Ю., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю.</i>	114
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Бояришинов М.Г., Трушков В.А.</i>	119
ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВЕКТОРОВ И ТЕНЗОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ <i>Бояришинов М.Г.</i>	122

ВЛИЯНИЕ РАБОЧИХ НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ЭКСКАВАТОРОВ-МЕХЛОПАТ <i>Хорешок А.А., Богомолов И.Д., Буянкин П.В., Воробьев А.В.</i>	129
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕОХОДА <i>Блащук М.Ю., Дронов А.А., Михеев Д.А.</i>	134
КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНСМИССИЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ГИДРОЦИЛИНДРАМИ <i>Блащук М.Ю., Куст Т.С.</i>	140
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГОРНОЙ МАШИНЫ С ПОРОДОЙ <i>Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Рак Д.В.</i>	145
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОФИЗИКИ ДВУХКОНТУРНОЙ ТЕПЛООТВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ <i>Кузнецов В.П., Скоробогатов А.С., Горгоц В.Г.</i>	149
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Смелов В.Г., Кокарева В.В., Малыхин А.Н.</i>	154
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ПЛАНИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА <i>Статников И.Н., Фирсов Г.И.</i>	157
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНЕЧНО ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ЦИЛИНДРОВ В SOLIDWORKSSIMULATIONS <i>Буялич Г.Д., Анучин А.В., Дронов А.А.</i>	161
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОБОЛОЧЕК КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ГЕОХОДА <i>Вальтера А.В., Аксенов В.В.</i>	165
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ <i>Даненова Г.Т., Ахметжанов Т.Б.</i>	170
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ <i>Потапова Л.А., Фисоченко Е.Г.</i>	173
О ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИНЫ НА ОСНОВЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Макеев М.П.</i>	176
УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА <i>Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ермаков А.Н., Ананьев К.А.</i>	180
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ СТАЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНКЕРОВ <i>Фадеев Ю.А., Войтов М.Д., Трипус Т.Е.</i>	184
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА <i>Храмцов И.В., Писарев В.В., Пальчиковский В.В., Бульбович Р.В., Павлоградский В.В.</i>	186

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСОВ МИКРОСБОРОК <i>Литвинов А.Н., Хади О.Ш.</i>	191
РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ СО СМЕННЫМИ СОПЛОВЫМИ НАСАДКАМИ <i>Храмцов И.В., Писарев П.В., Пальчиковский В.В., Бульбович Р.В., Павлоградский В.В.</i>	194
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ КРОВЛИ ПРИ ЕЕ ОБРУШЕНИИ <i>Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Умрихина В.Ю.</i>	199
РАСЧЕТ МАНЖЕТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ <i>Буялич Г.Д., Буялич К.Г.</i>	202
МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛИЗАЦИИ В РЕГИОНАЛЬНОЙ И ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ <i>Кудряшова И.А.</i>	205
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАВНОПРОЧНОГО ЭЛАСТОМЕРНОГО УПЛОТНИТЕЛЬНОГО КОЛЬЦА ДЛЯ УСЛОВИЙ РАДИАЛЬНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА <i>Абдеев Б.М., Брим Т.Ф., Муслиманова Г.Е.</i>	208
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ <i>Тайлаков О.В., Макеев М.П., Кормин А.Н., Смыслов А.И.</i>	212
<u>СЕКЦИЯ 3: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ</u>	
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОНЦЕНТРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА НА ПЕРЕХОД ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ <i>Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Земенков Ю.Д., Попова А.А.</i>	217
АНТИКОРРОЗИОННОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ ЦИНК – НАНОБОРИД ХРОМА: ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА <i>Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	220
ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУРАВНОВЕШЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ <i>Битыев И.К.</i>	224
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ, НАПЛАВКЕ И НАПЫЛЕНИИ (ОБЗОР) <i>Лукашов А.С., Зернин Е.А., Кузнецов М.А.</i>	228
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИАМИДА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА <i>Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.</i>	233
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСКИСЛЕНИЯ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЛЬСОВ <i>Козырев Н.А., Уманский А.А., Бойков Д.В.</i>	238
МЕТОДЫ УЧЕТА НАДЕЖНОСТИ В МЕТОДИКЕ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СБОРНЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ <i>Артамонов Е.В., Василега Д.С., Остапенко М.С.</i>	243

СИНТЕЗ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ КАРБОТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА <i>Кузнецова В.В., Крутский Ю.Л.</i>	248
СБОРНАЯ ЧЕРВЯЧНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШЕСТЕРЕН КПП ПОДЪЕМНИКА ДЛЯ РЕМОНТА СКВАЖИН <i>Артамонов Е.В., Киреев В.В.</i>	250
ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ БРОНЗЫ ПГ-19М- 01 НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ <i>Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Суханова Е.В.</i>	256
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ <i>Лебедева Е.Ю., Казьмина О.В.</i>	262
К ПОВЫШЕНИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Песин М.В., Шакиров Р.К., Субботин Д.А.</i>	266
К АНАЛИЗУ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ РЕЗЬБЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Песин М.В., Туранский Р.А., Григорьева А.В.</i>	268
РАСЧЕТ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ <i>Шавва М.А., Грубый С.В.</i>	271
АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ <i>Федосеев С.Н., Некрасова А.А.</i>	275
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШНЕКОВЫХ ЗАГОТОВОК <i>Василькив В.В.</i>	278
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ХРАПОВЫХ ЗУБЬЕВ <i>Шарков О.В., Корягин С.И., Великанов Н.Л.</i>	284
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОШИВКИ ОХЛАЖДАЮЩИХ ОТВЕРСТИЙ ЛОПАТОК ТУРБИН НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СТАНКА С ЧПУ <i>Макаров В.Ф., Григорьева А.В., Туранский Р.А.</i>	288
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК ТУРБИН <i>Макаров В.Ф., Туранский Р.А., Григорьева А.В.</i>	291
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОТАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ <i>Павлов Е.В., Павлова М.А.</i>	295
ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ <i>Павлов Е.В., Павлова М.А.</i>	297
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА БЛОКИРОВКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ <i>Коперчук А.В., Мурин А.В.</i>	300

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПЛАСТИН ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК4-1 ТОЛЩИНОЙ 3 ММ <i>Винокуров Н.В., Нуртдинов А.С., Карманов В.В.</i>	303
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ <i>Бачева А.В., Панин Ю.В., Карманов В.В.</i>	305
НАПЛАВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ РУД <i>Козырев Н.А., Шурупов В.М., Козырева О.Е., Титов Д.А., Осетковский И.В.</i>	309
НЕКОТОРЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИ СВАРКЕ ПОД УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМ ФЛЮСОМ <i>Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Козырев Н.А.</i>	312
К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Петрушин С.И., Грубый С.В., Лагунов С.Е.</i>	317
УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЕМ ПОСТРОЕННЫЕ НА БАЗЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА <i>Смирнов И.В., Смирнова А.И., Архипкин Д.И.</i>	319
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ <i>Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В.</i>	323
ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ АЗОТОМ ПРИ ПРОДУВКЕ В КОВШЕ ЧЕРЕЗ ДОННЫЕ И ПОГРУЖАЕМЫЕ ФУРМЫ <i>Гизатулин Р.А., Козырев Н.А., Сапрыкин А.А., Шешуков О.Ю., Дудихин Д.А.</i>	328
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СВАРКИ И СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ РАВНОГО СЕЧЕНИЯ <i>Добровольский В.Г., Смирнов И.В.</i>	332
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНОДИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ <i>Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Шадрин П.Н.</i>	339
УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ИЗ УТИЛИЗИРОВАННЫХ МЕДНЫХ ОТХОДОВ <i>Баяндина О.В., Бусыгин С.Л.</i>	342
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОКАТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э78ХСФ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ <i>Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадыков В.Н.</i>	347
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ <i>Федосеев С.Н., Осипова В.Г.</i>	352
ИЗМЕНЕНИЕ СТАЛЬНОГО СЛИТКА МОДИФИЦИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ <i>Федосеев С.Н., Шарафутдинова А.С.</i>	355
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ ИЗЛОЖНИЦ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СЛИТКОВ ТИТАНА <i>Новосельцев Ю.Г., Михайлова Д.С., Баяндина О.В.</i>	357

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТАНОВОК ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ <i>Архипова Д.А.</i>	361
ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ ДИБОРИДА ТИТАНА: ТЕРМОДИНАМИКА, ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ, СВОЙСТВА <i>Ефимова К.А., Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	365
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО БАРИЙСТРОНЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ <i>Платонов М.А., Рожихина И.Д., Дмитриенко В.И., Шарафутдинова А.С.</i>	367
РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ В ПРОГРАММЕ LTSPICEIV <i>Крампит М.А., Зернин Е.А.</i>	372
3D ПРИНТЕРЫ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Бабакова Е.В., Ибрагимов Е.А., Сапрыкин А.А., Дрелих И.В.</i>	376
ВЛИЯНИЕ СВАРНОГО ШВА НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ <i>Кусков К.В., Ковенский И.М., Кусков В.Н.</i>	380
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ <i>Кузнецов М.А., Баранникова С.А., Зернин Е.А.</i>	383
МЕТАЛЛУРГИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАНА <i>Серикбол А.</i>	386
ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА <i>Кузнецов М.А., Зернин Е.А., Карцев Д.С.</i>	390
НАПЛАВКА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ НЕЗАВИСИМОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ <i>Безруких А.А., Готовко С.А., Мейстер Р.А.</i>	393
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ПРУЖИН ИЗ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ <i>Цхай Э.Б., Волокитин Г.Г., Клопотов А.А.</i>	397
СЕКЦИЯ 4: ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
СИСТЕМА ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Булкин В.В., Кириллов И.Н.</i>	402
РАЗВИТИЕ МОНОГОРОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ <i>Антонов Г.Д., Иванова О.П., Антонов И.С.</i>	405
ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Трифонов В.А.</i>	410
БЕССВИНЦОВЫЙ ПРИПОЙ НА ОСНОВЕ ОЛОВА <i>Курмаев М.Н., Волков А.А., Перевезенцев Б.Н.</i>	414

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕНЫ НОВОГО КЛАССА ГОРНОПРОХОДЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Бурова О.А., Косовец А.В., Нестерук Д.Н., Подзорова Е.А.</i>	416
ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ <i>Куровский В.Н., Лоцилова М.А., Михальцова Л.Ф., Кононыхина А.Д.</i>	419
ФАКТОР ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАЗВИТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ <i>Соловенко И.С., Кононыхина А.Д.</i>	423
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН В ЦЕХОВЫХ УСЛОВИЯХ <i>Поболь О.Н., Фирсов Г.И.</i>	427
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПЕЧАТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ <i>Литовкин С.В., Петькова Ю.Р.</i>	433
ЦИКЛОН С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И САМОРАЗГРУЖАЕМЫМ БУНКЕРОМ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Алексеенко Л.Н.</i>	435
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЙОНОВ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Торосян В.Ф., Торосян Е.С., Юшков В.П.</i>	442
КОНЦЕПЦИЯ СТРАТЕГИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНКУРЕНЦИИ В ЭКОНОМИКЕ ЗНАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ <i>Медведева О.В.</i>	448
УСПЕШНЫЙ ОПЫТ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В МОНОГОРОДЕ ЮРГА <i>Шабашев В.А., Трифонов В.А., Добрычева И.В.</i>	454
ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ <i>Федосеев С.Н., Дмитриева А.В.</i>	458
РОССИЙСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НОВОЙ ЭКОНОМИКИ <i>Есаулов В.Н.</i>	461
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ В РАЗНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Бывалец О.А., Авилова И.А., Чузунов С.А., Беляев А.Г.</i>	464
АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОТРАСЛИ РФ <i>Сушко А.В., Лизунков В.Г., Лисачев А.Н.</i>	469
ИНЖЕНЕРНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ЭКСПЕРТОВ-ЭКОЛОГОВ В ОБЛАСТИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ <i>Пономарёв В.А., Полещук Л.Г., Солоха А.А.</i>	474
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	479

СЕКЦИЯ 1: СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЛЕНТЕ КОНВЕЙЕРА

С.В. Савичева, к.т.н., доц.

Муромский институт (филиал) Владимирского Государственного Университета

им. А.Г. Н.Г. Столетовых

602200, г. Муром, ул. Орловская, 23, тел. (49234)- 7-71-22

E-mail: Savicheva.Svetlana@gmail.ru

Системы технического зрения (СТЗ) широко и успешно применяются во многих отраслях промышленности на таких операциях, как контроль и отбраковка различных деталей и изделий по внешнему виду, загрузка обрабатывающих станков деталями с конвейеров, сортировка и ориентированная укладка в кассеты деталей и заготовок, в том числе неупорядоченно движущихся по конвейеру или поступающих в таре навалом, сборка и комплектация узлов, монтаж электронных узлов, технические измерительные системы, медицинские диагностические системы [1-3].

Несмотря на высокий уровень развития современной компьютерной техники, до настоящего времени остается целый ряд практических задач, решение которых оказывается достаточно проблематичным. В связи с этим актуальным является вопрос разработки автоматической системы распознавания, которая будет сортировать плоские промышленные детали и изделия, расположенные на ленте конвейера, как по отдельности, так и в наложенном состоянии с использованием быстродействующих и точных алгоритмов распознавания [1-3].

Модель технологического процесс сортировки

На рис. 1 приведена общая модель технологического процесса распознавания отдельных и наложенных плоских объектов. Через заданные промежутки времени камера делает снимок поверхности ленты конвейера. Полученные изображения поступают на вход блока предварительной обработки. Он предназначен для приведения полученного с камеры полутонового изображения к виду удобному для анализа и распознавания. Для этого с изображения удаляется шум, оно бинаризуется, после чего к нему применяется операция маркировки объектов с целью определения объектов, попавших в поле зрения для распознавания [4].

Медианная фильтрация позволяет уменьшить количество помех небольшого размера на изображении. В качестве таких помех могут быть частицы пыли, попавшие на поле зрения или на исследуемый объект либо на оптическую систему видеодатчика.

Бинаризация предназначена для выделения областей в поле зрения АСР, принадлежащих объектам. Для этого применяется процедура пороговой сегментации, которая разделяет изображения на области. Точки, яркость которых меньше используемого порога считаются принадлежащими объекту, остальные – фону.

После применения операции бинаризации выполняется процесс маркировки (последовательной разметки связных компонент), в котором каждой точке каждого объекта присваивается номер связной компоненты, представляющий собой данный объект.

Объекты могут быть расположены по краю поля зрения АСР. В этом случае они считаются не полностью вошедшими в кадр и системой не анализируются. Для их удаления используется рекурсивный алгоритм.

Ввиду того, что алгоритмы распознавания работают с контурами объектов, то следующим шагом предварительной обработки является выделение одноточечных безразрывных контуров объектов, вычисление их центра тяжести и нормализация.

В результате каждый объект, вошедший в поле зрения, будет приведен к виду удобному для анализа и распознавания.

На этом этап предварительной обработки заканчивается и начинается этап определения типа поля зрения АСР.

В поле зрения АСР возможны следующие ситуации:

1. Пустое поле зрения – в кадре нет ни одного объекта и ни одной помехи;
2. Помехи – в кадре нет ни одного объекта;
3. Отдельный объект – в кадре находится один отдельный объект и возможно отдельные помехи;
4. Два отдельных объекта – два изолированных друг от друга объекта.
5. Наложённые объекты – два объекта, которые между собой пересекаются.

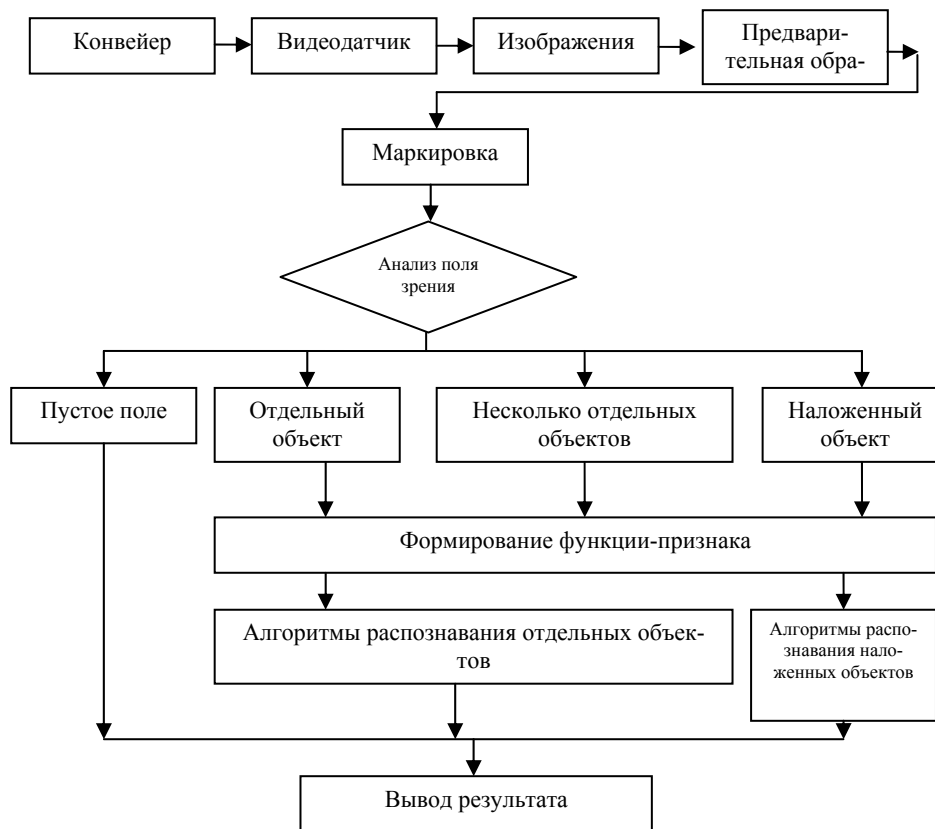


Рис. 1. Схема технологического процесса распознавания

Алгоритм определения возможных ситуаций положения объектов в поле зрения после их получения с видеодатчика выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{S0}) \wedge (d_m < B_{m0}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{S0}) \wedge (d_m > B_{m0}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{array} \right.$$

где k – количество обнаруженных объектов; S_{oi} – площади обнаруженных объектов; B_n – разность между минимальной площадью эталонного объекта и порога по площади B_{S0} , который определяется на большой выборке ситуаций отдельных и наложенных объектов; d_s – отклонения по площади; B_{m0} – порог по моментам; d_m – отклонения по моменту.

После получения изображения в видеодатчика, его предварительной обработки и определения типа поля зрения (пустое поле, отдельный объект, наложенные объекты, помехи) производится вычисление основных и дополнительных признаков объектов и их распознавание путем сравнения с векторами-признаков эталонов из базы данных системы, на основе алгоритмов, описанных в [5].

Экспериментальные исследования

Для проведения исследований была составлена выборка, состоящая из изображений реальных плоских объектов различных типов с помехами и без. Презентабельное количество испытаний было выбрано равным 20000.

Пример изображений, соответствующих возможным ситуациям типа поля зрения приведен на рис. 2.

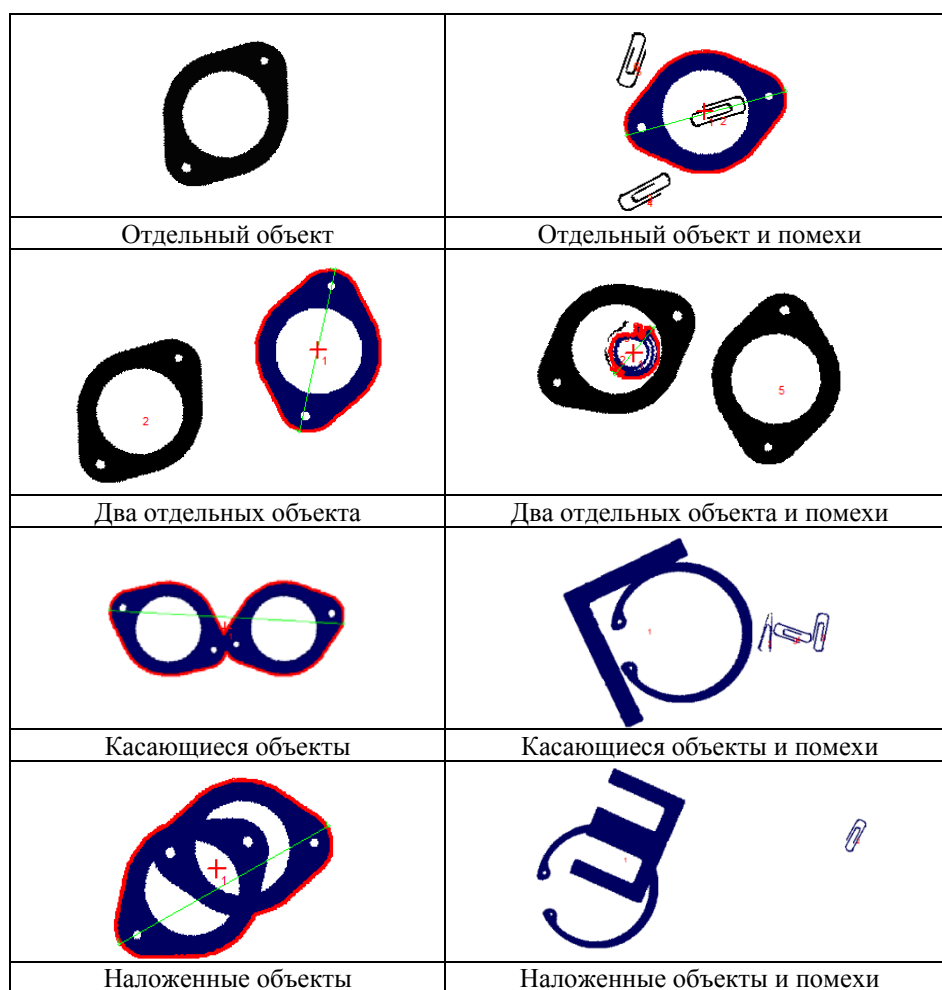


Рис. 2. Тип поля зрения

Комплексное исследование технологического процесса распознавания отдельных и наложенных плоских объектов на модели дало следующие результаты (таблица 1).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Тип поля зрения	Количество появлений	Количество ошибок при определении типа поля зрения	Количество ошибок при распознавании
Пустое поле	3116	0	0
Отдельный объект	4246	59	23
Два отдельных объекта	4071	0	0
Наложённые объекты	8567	171	0
Всего	20000	230	23
Вероятность правильного распознавания		0,988	0,999

Результаты проведенных исследований показали, что при определении типа поля зрения:

- ситуация «пустое поле» встречается 3116 раз и процент ошибок при определении данной ситуации равен 0%.
- ситуация «отдельный объект» встречается 4246 раз. Их них количество ошибок при определении составляет 59 раз.
- ситуация «два отдельных объекта» встречается 4071 раз и количество ошибок при ее определении составляет 0%.

– ситуация «наложенные объекты» встречается наиболее часто (8576). Количество ошибок составляет 230.

Аналогичные результаты получены при распознавании объектов.

Выводы:

Установлено, что предлагаемый алгоритм определения типа поля зрения обеспечивает максимальный суммарный процент ошибок равный 0,1%. Ошибки возникают в случаях, когда наложенный объект при определенной комбинации объектов и проценте наложения ничем по признакам не отличается от отдельного объекта.

Алгоритм распознавания обеспечивает процент правильного распознавания объектов равный 98,9%, что является приемлемым для использования в реальных промышленных системах распознавания.

Создан комплекс программ, позволяющий моделировать технологический процесс сортировки реальных плоских объектов на конвейере и выполняющий операции предварительной обработки объектов, определения типа поля зрения, вычисление основных и дополнительных признаков объектов и их распознавание. Основными достоинствами является простота реализации, высокое быстродействие и точность работы.

Литература.

1. Системы распознавания автоматизированных производств / В.Л. Генкин, И.Л. Ерош, Э.С. Москалев. – Л.: Машиностроение, 1988. – 246 с.
2. Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков. – под ред. Ю.Г. Якушенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявского. – под ред. А.Н. Писаревского. – Л.: Машиностроение, 1988. – 424 с.
4. Садыков С.С. Предварительная обработка изображений плоских объектов в системах технического зрения / С.С. Садыков, С.В. Савичева // Приборостроение. – 2012, №2. – С. 19-24.
5. Садыков С.С., Савичева С.В. Распознавание отдельных и наложенных плоских объектов – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 265 с.

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЙ
МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ**

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., Д.В. Дудихин, студент, Е.В. Бабакова, аспирант
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, Ленинградская, 26, тел (384-51) 6-22-48
E-mail: babakova@tpi.ru*

История появления селективного лазерного спекания (СЛС) началась в конце 80-х годов прошлого века и была разработана Карлом Декардом, который использовал порошкообразный материал, спекаемый лазером

Его первый прототип, где в качестве излучателя использовался 100-ваттный твердотельный лазер. Формирование слоя из порошка происходило вручную, в качестве материала использовался легкоплавкий полимер, а первые изделия более походили на бесформенные куски пластика, но работоспособность схемы была доказана, и работа над совершенствованием технологии продолжилась [1].

В 1989 году были напечатаны первые изделия из металлического порошка, что и привело к дальнейшему развитию трехмерной печати [2].

Сам процесс печати напоминает стереолитографию: лазер спекает слой за слоем, а платформа с изделием постепенно погружается в камеру с материалом – с той лишь разницей, что вместо жидкого фотополимера используется порошок, который требуется периодически подсыпать и разравнивать. Кроме того, в камере постоянно поддерживается температура, близкая к температуре плавления материала, а рабочая зона заполняется инертным газом или азотом для предотвращения окисления вещества при плавлении. Картриджи и рабочая камера представляют собой ёмкости с подвижным дном, перемещающимся по ходу печати [3].

Процесс селективного лазерного спекания происходит в следующем порядке:

а) с помощью ролика, прокатывающегося по поверхности рабочего стола, наносится равномерный слой порошка;

б) луч лазера «рисует» на рабочем столе контур текущего слоя (при этом частицы порошка, попавшие под воздействие луча, спекаются (сплавляются) между собой);

в) платформа рабочей камеры опускается на толщину одного слоя, дно картриджей (их, как правило, два) на столько же поднимается;

г) ролик забирает порцию порошка и, прокатываясь, наносит следующий слой (излишки материала при этом просто выдавливаются во второй картридж);

д) процесс повторяется до тех пор, пока изделие не будет окончательно сформировано;

е) изделие извлекается из камеры и очищается от порошка [4].

На данном этапе в СЛС используется широкий спектр материалов, который превосходит по количеству другие технологии. К настоящему моменту времени известно огромное количество опробованных материалов:

1. однокомпонентные – поликарбонат, нейлон, железо, титан, медь;
2. многокомпонентные и интерметаллидные системы (Ni, Al, Ti, W, их карбиды и интерметаллиды, сплав INCOTEL625, Ti-6Al-V, Mo-Cu, Cu-Ni, Cu-Sn, Cu-Sn-Ni, Fe-Cu, бронза-Cu₃P, WC-Co, TiC-Ni/Co/Mo, TiCN-Ni, TiB₂-Ni, ZrB₂-Cu, Fe₃C-Fe);
3. низко- и высоколегированные стали;
4. конструкционная (ZrO₂, Al₂O₃, Al₂O₃-Al₄B₂O₉, Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃, Si₃N₄-Al₂O₃, Ti-Zn-Al/Al₂O₃, Ti+ZrO₂, ZrO₂-Al₂O₃-Al, ZrO₂-Al-Y₂O₃) и сегнетоэлектрическая (Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃, Bi₄Ti₃O₁₂, Li_{0,5}Fe_{2,5}-Cr_xO₄, BaFe_{12x}Cr_xO₁₉) керамики; керамо – (Al₂O₃ с полиметилметакрилатом) и пьезопласты (ЦТС+PVDF) [5,6].

Список используемых материалов постоянно растет благодаря развитию и усовершенствованию СЛС.

Метод СЛС реализуется в специальных установках, конструкции которых напрямую влияют на качественные характеристики создаваемых изделий [7–9].

Одним из ведущих производителей СЛС-машин является компания EOS, которая делит их на 3 группы:

1. Установки серии P. Системы лазерного спекания полиамидов, полистирола и высокотемпературостойкого полимера для прямого изготовления серийной продукции, запасных частей, полнофункциональных прототипов и деталей для литья в вакууме или литья по выплавляемым моделям. Примерами таких установок являются: FORMIGA P 110 – для изготовления небольших деталей, EOS P 396 – среднего класса, EOSINT P 760 – двух лазерная система для изготовления больших изделий [10].

2. Установки серии M. Системы лазерного сплавления металлических порошков для изготовления деталей и прототипов из металлов, элементов пресс-форм. Одна из таких установок – EOS M 400, предназначенная для прямого промышленного изготовления высококачественных металлических изделий большого размера [10].

3. Установки серии S. Системы лазерного спекания для прямого изготовления песчаных стержней и форм для литья металлов. Представителем является EOSINT S 750 – единственная в мире двухлазерная система спекания оболочек для литья металлов, изготовления песчаных стержней и форм для литья [11].

Технология СЛС имеет широкую область применения. Прототипы для оценки проекта и работоспособности изделия по функциональному признаку подразделяются на три вида: эскизные, косметические и инженерные.

К эскизным относятся модели, используемые конструкторами на первых этапах разработки. Назначение – визуализация различных идей для более эффективной их оценки, с целью выбора из всего множества решений наиболее перспективный вариант.

Косметические прототипы предназначены для оценки внешнего вида и формы (эргономики) новой детали. Они используются для оперативной коррекции дизайна изделия.

Наконец, инженерные прототипы используются для оценки функциональной пригодности новой разработки. Такие прототипы применяются для оценки сопрягаемости новой детали с существующим окружением (проверка собираемости изделия), а также для выполнения функциональных тестов [12–18].

Создание готовых функциональных изделий методом селективного лазерного спекания является совершенно новым и независимым производственным процессом. Механические свойства объектов, генерируемых СЛС, непосредственно применяются в качестве функциональных деталей. Процесс изготовления одной детали с помощью СЛС-машины занимает обычно несколько часов, что

порой на несколько порядков медленнее традиционных способов. Однако производство деталей селективным лазерным спеканием не требует разработки и отладки техпроцесса и изготовления специального инструмента – в этом и заключаются основные преимущества данного метода [12–18].

Перспективной областью для исследований является производство различных частей одного и того же изделия из различных материалов. Желаемые характеристики частей могут быть достигнуты за счет использования разнообразных материалов для каждого из слоев, в результате чего возможно получение новых металлургических и механических характеристик продукции.

Параметры процесса должны быть оптимизированы при помощи моделирования процессов и стратегии спекания, что позволит ускорить процесс производства и значительно снизить искажения на поверхности спекаемого изделия. Оптимизация параметров процесса также необходима для прогнозирования требуемых физико-механических свойств продукта СЛС.

Можно сделать вывод о том, что метод селективного лазерного спекания является постоянно развивающейся перспективной технологией быстрого прототипирования, которая в скором времени может стать неотъемлемой частью производства.

Литература.

1. <http://3dp.su/selektivnoe-lazernoe-spekanie-chast-1-istoriya-poyavleniya/>
2. <http://3dp.su/selektivnoe-lazernoe-spekanie-chast-2-texnologiya/>
3. Шишковский И.В. Перспективы быстрого прототипирования для изготовления моделей и литейных форм // Литейное производство. 2010. №6. С. 23-29.
4. Григорьев С.Н., Грибков А. А. Оптимизация точности элементов дозирующей системы // Техника и технология. 2006. № 5. С.73-79
5. Григорьев С.Н. Тенденции и проблемы модернизации машиностроительного производства на базе отечественного станкостроения // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №3. С. 7-13.
6. Снарев А.И., Саркисов В.Г., Козлов В.А. Устройство для гидравлической защиты погружного масла заполненного двигателя. Патент РФ № 2099844. Зарег. 20.12.97 г.
7. Дорожкин С.В., Агатоулус С. Биоматериалы: обзор рынка // Химия и жизнь. 2002. № 2. С.8-10.
8. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика/под общей редакцией Маслова А.Р. М.: Машиностроение, 2005. 464 с.: ил.
9. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Концепция построения базовой системы числового программного управления мехатронными объектами // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011.
10. <http://www.eosab.ru/>
11. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально - градиентных мезоструктур и объемных изделий / И.В. Шишковский. М.: Физматлит, 2009. 424 с.
12. Шишковский И.В. Использование селективного лазерного спекания в литье по выплавляемым моделям / И.В. Шишковский // Литейное производство. 1999. № 7. С. 19-22.
13. Шишковский И.В. Лазерный синтез объемных изделий / И.В. Шишковский // Обзорный доклад на семинаре Отделения квантовой радиофизики ФИАН им. П.Н. Лебедева, декабрь 2009, Москва.
14. Functional graded material synthesis via Direct Metal Deposition / I. Yadroitsev, I.V. Shishkovsky, P. Bertrand, I. Smurov // Proceedings of the Fourth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2007, Munich, 18-22 June 2007. P. 16.
15. Назаров А.П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания/плавления / А.П. Назаров // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 4. Т. 1 (16). С. 46-51.
16. Окунькова А. А. Комплекс контроля геометрических параметров продукции термопластавтомата: разработка структурной схемы / А.А. Окунькова // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 2. С. 75-79.
17. Рыбаков А.В. Решение задач технологической подготовки производства деталей, получаемых методом электроэрозионной проволочной обработки (на примере деталей пресс-форм в Pro/Engineer) / А.В. Рыбаков, А.А. Окунькова // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. №1 (21). С. 20-28.
18. Cutting tools nitriding in plasma produced by a fast neutral molecule beam / A. Metel, S. Grigoriev, Y. Melnik, V. Panin, V. Prudnikov // Japanese Journal of Applied Physics. 2011. Vol. 50 (8 part 2). P. 08JG04-1-08JG04-4.

ВОЛОКНО-УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., Е.В. Бабакова, аспирант, Е.А. Ибрагимов, старший преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел (384-51) 6-22-48
E-mail: babakova@tpu.ru*

Технология быстрого прототипирования (БП) появилась около двадцати лет назад, с целью быстрого производства изделий непосредственно из трехмерной САД-модели. Она используется, чтобы сократить и упростить цикл разработки изделий разного назначения, включая аэрокосмическую, автомобильную, бытовую технику и другие. БП включает в себя последовательное послойное добавление материала для создания твердого тела заданной формы. С годами, сфера применения БП увеличилась и превратилась от производства прототипов для пригодного и функционального тестирования до производства конечных продуктов функционального назначения [1, 2].

Волокно-упрочненные композиты наилучшим образом воспринимают различные внешние нагрузки и имеют ряд преимуществ. К числу их специальных свойств относится низкая пористость, низкий коэффициент термического расширения, сохранение стабильной структуры и свойств, а также размеров изделий при нагревах до 2000°C и охлаждении, высокие механические свойства и другие [3]. Это позволило успешно их применять в качестве тормозных дисков в авиационных тормозах, соплах ракетных двигателей, в защитных накладках крыльев космических челноков, пресс-формах, тиглях, роторов турбин, труб высокого давления, для подшипников скольжения, уплотнений и т.д.

Методы БП, в которых получают волокно-упрочненные композиты являются стереолитография (SLA), моделирование методом наплавления (FDM) и технология изготовления объектов с использованием ламинирования (LOM). В порошковых методах быстрого прототипирования, таких как селективное лазерное спекание (SLS) и технология объемной наплавки (LENS), затруднительно получить однородный слой смеси порошок-волокно [4,5].

Стереолитография (Steriolithography Apparatus) – способ получения моделей посредством отверждения тонкого слоя жидкого фотополимера лазерным лучом. Разработан фирмой 3D Systems и представлен в 1987 г.

Для изготовления композиционного материала по технологии SLA, фотополимеры смешивают с частицами или волокнами, благодаря которым улучшаются свойства изделия, но может возникать ряд проблем. Во-первых, армированные частицы вызывают увеличение вязкости фотополимера, который в дальнейшем усложняет процесс получения новых слоев. Во-вторых, проблема, связанная с жидкой смесью – это частицы выпадают в осадок, вместо равномерного распределения в жидкой смоле, что ведет к их неравномерному распределению. В-третьих, проблема образования пузырьков в жидкости, приводящей к порам после затвердевания, которые впоследствии являются причиной образования трещин. В-четвертых, происходит более длительное затвердевание формы из-за частичного отражения лазерных лучей твердыми частицами, присутствующими в жидкой смеси [6].

Некоторые из выше указанных проблем можно избежать используя технологию Optoform. Это относительно новая технология, позволяющая обрабатывать пасты, содержащие керамику или металлический порошок. Такая паста изготавливается на основе фотополимера и акрилата, или эпоксидной смолы, с очень большим содержанием (до 60 %) твердых фракций. Технология довольно гибка в отношении материалов и выявляет изделия с относительно большим первоначальным содержанием (до 60 %) твердых фракций. Следующим этапом после обработки является разъединение связей и спекание [7].

В SLA для упрочнения композита применяют стекловолокно, углеволокно или керамику. Для создания волокно-упрочненных композитов используют короткие и непрерывные волокна [8].

SLS (Selective Laser Sintering) – послойное лазерное спекание, способ формирования модели послойным спеканием порошковых материалов, в отличие от SLA лазер используется не как источник света, а так источник тепла. В качестве источника нагрева для сканирования и приведения частиц в заранее определенные размеры и формы слоев используются непрерывные или пульсирующие лазерные лучи. Геометрия отсканированных слоев соответствует различным разделам моделей установленной системой автоматизированного проектирования (САПР). После сканирование первого слоя, продолжает сканироваться второй слой, который находится над первым, повторяя процесс от основания до вершины, пока продукт не завершится [9].

В данном методе упрочнение происходит за счет армированного порошка, который используется в виде твердых частиц. Это связано с тем, что при упрочнение волокном могут возникнуть проблемы в процессе формирования гладкой поверхности [10]. Вместо взятия смеси полимерного и армированного порошка, также может быть использован один порошковый композит, например, наполненный стекловолокном полиамидный порошок и т.д. Одна из частей композита помогает преодолеть трудности, связанные со смешиванием порошков и дает равномерное распространение составных компонентов в конечном продукте. Так же может использоваться полиамидный порошок с коротким армированным углеволокном [11].

ЛОМ (Laminated Object Manufacturing) – послойное склеивание пленочных материалов, например, полимерной пленки или ламинированной бумаги с последующим формированием («вырезанием») модели с помощью лазерного луча. Данный метод БП разработан калифорнийской фирмой Helisys (в настоящее время этим занимается фирма Cubic Technologies).

ЛОМ является уникальной в том смысле, что слои продукта могут быть изменены при помощи ламината, состоящего из различных материалов с различным составом, чтобы получить разнообразные композиты. Эта возможность имеет свои ограничения в автоматизации, поскольку многие наборы ламинатов должны быть интегрированы в данный процесс [12].

В ЛОМ существует пример получения волокно-упрочненных композитов толщиной 0,5 мм путем присоединения слоев керамической ленты с волоконным препрегом.

Препрег – род композитных материалов, применяемый в различных сферах строительства и производства. Это целая череда материалов, общей чертой которых является способ их получения. Их получают, пропитывая упрочняющие материалы волоконной структуры связующими смолами-полимерами. Пропитка и волокнистая основа подбираются, чтобы максимально реализовать физико-химические свойства композитного препрега. Это даёт возможность производить непрерывные изделия сложной формы при минимуме производственных затрат. Препреги применяются как наполнители, прессовочные материалы, армирующие составляющие различных поверхностей. Это слоистые наполнители, стекловолоконная основа которых пропитана термически реактивным веществом, а после частично отвержена. Препреги выпускаются как непрерывное полотно в полиэтиленовой оболочке, сворачиваемое в рулоны [13].

Во время ЛОМ-обработки, процесс разделки непрерывных волокон CO_2 -лазером сопровождается горением и тепловым повреждением соседних полимеров. Эта проблему можно было бы избежать с помощью лазеров на парах меди, так как он режет волокна механизмом фотоабляции (испарения) [14].

FDM (Fused Deposition Modeling) – послойная укладка расплавленной до полужидкого состояния нити (проволоки) в соответствии с геометрией математической модели (моделирование наплавлением). Процесс фирмы Stratasys (США).

Метод FDM способен создавать прочные композиты, так как происходит образование связующее вещество между слоями из-за частичного или полного плавления исходного волокна. В процессе моделирования наплавлением каждый слой изделия формируется путем выдавливания материала (термопластичного полимера, воска) в виде нити, проволоки или волокна, намотанного на катушку, нагретого в FDM-экструзионном сопле до расплавленного состояния (температура выдавливаемого материала незначительно превышает температуру его затвердевания), на платформу носителя.

Добавление волокон в случае FDM увеличивает жесткость термопласта и уменьшает отек ленты в экструзионной головке в течение производства [15]. Наличие волокна также повышает температуру размягчения и искажение лент [16]. Волокна с большим удлинением могут быть получены при экструзии пленки с помощью введения капель термотропных жидких кристаллических полимеров (TLCP) в смесь. В связи с тем, что температура обработка TLCP высока и, приводит к деградации исходного термопластика при плавлении смеси, необходимо расплавить их по отдельности, а позже смешать позже [17].

LENS (Laser Engineered Net Shaping) – построение металлической модели в среде аргона путем вдувания металлического порошка в зону плавления, формируемую лазерным лучом. Процесс разработан фирмой Optomec (США).

LENS используется для создания композитов, имеющие компоненты с различными степенями армирования, приводящие к получению функционально-градиентных материалов, путем использования различных порошков в среде нейтральных газов [18].

Для армирования в основном используется углеволокно и стекловолокно [4].

UC (Ultrasonic consolidation) – основана на соединении слоев металлической ленты с помощью ультразвуковой сварки и придание формы каждому слою, используя ЧПУ-фрезерование. Процесс фирмы Solidica (США) Vantico – фирма-производитель расходных материалов для RP-машин. Используется лента на основе Al, Cu, Fe, Ni и т.д. [19, 20].

В UC укладка армирующего волокна может быть осуществлена между слоями.

Технология UC имеет следующие преимущества по сравнению с другими методами БП в изготовлении волокно-упрочненных композитов:

- 1) точное размещение волокна в структуре;
- 2) отсутствие повреждения волокна из-за медленного подъема температуры.

Широкое применение в UC получил материал, называемый MetPreg [21].

MetPreg – это высокопрочный, высокотемпературный материал, который обладает преимуществами и металла, и композита, а также хорошо поддается обработке различными методами. По структуре этот материал представляет собой металл-матричный композит содержащий высокопрочные, высокотемпературные волокна поликристаллического оксида алюминия в металлической матрице. Компания Touchstone Ltd. в настоящее время производит и продает MetPreg в форме препрег ленты. Благодаря высокой прочности и жесткости алюминиевой матрицы, металлические препреги обладают большим потенциалом по снижению массы соединений по сравнению с полимерными композитами [22, 23].

SLA и LOM имеют обширные потенциалы для изготовления армированных композитов из непрерывных волокон. Однако для быстрого и точного получения изделия, методы требуют дальнейшего усовершенствования. Развитие специальных смесей из порошков – это самый простой способ получить композиты с использованием технологий SLS и LENS.

Необходимо исследовать существующие технологии БП (например, увеличение пропускной способности машины для UC и т.д.) или создавать новые технологии БП (например, на основе плазменной сварки и т.д.) в целях расширения сферы применения изделий.

Литература.

1. P.K. Jain , K. Senthilkumaran, P.M. Pandeyand, P.V.M.Rao, 2006. Advances in Materials for powder based rapid prototyping, Proceedings of international conference on Recent Advances in Materials and Processing, at PSG College of Technology, Coimbatore, India, December 15-16, section 14.6.
2. A.V. Walter, Modeling of track overlapping effect on layer integrity in the process of laser sintering of polymer suspension, Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2012. [in Russian].
3. Лысенко В.А. Исследование углеродных волокнистых материалов – прекурсоров для пористых электродов / А.А. Лысенко, В.А. Лысенко, П.Ю. Сальникова [и др.] // International conference «Ion transport in organic and inorganic membranes»: Book of Abstracts. – Krasnodar: Membrane Institute KubSU, 2009. – С. 117 – 118.
4. Kumar, S., Kruth, J.-P. Composites by rapid prototyping technology. *Materials & Design*,31(2), 850–856, 2010
5. Pham, D.T. and Dimov, S.S. “Rapid Manufacturing: The technologies and applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling”, Springer-Verlag London Limited, 2001. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science January 1, 2003 vol. 217 no. 1 1-23
6. C.M. Cheah, J.Y.H. Fuh, A.Y.C. Nee, L. Lu, (1999) "Mechanical characteristics of fiber filled photo polymer used in stereolithography", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 5 Iss: 3, pp.112 – 119
7. G. Vaneetvelde, A.-M. Clarinval, T. Dormalb, J.-C. Nobenc, J. Lecomte-Beckersd, Optimization of the formulation and post-treatment of stainless steel for rapid manufacturing, *journal of materials processing technology* 196(2008) 160–164.
8. G Zak, M Haberer, CB Park, B Benhabib, Mechanical properties of short-fibre layered composites: prediction and experiment, *Rapid Prototyping Journal* 6 (2), 107-118,2000.
9. Kumar S., Selective laser sintering: A qualitative and objective approach, *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 2003 – Springer, Volume 55, Issue 10, pp 43-47.
10. Mazzoli A, Moriconi G, Pauri MG. Characterization of an aluminum-filled polyamide powder for applications in selective laser sintering. *Materials & Design*. 2007;28(3):993–1000.
11. Kruth JP, Levy G, Klocke F, and Childs T. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layer manufacturing. *Ann CIRP* 2007; 56(2): 730-59.

13. Weisensel L, Travitzky N, Sieber H, and Greil P. Laminated Object Manufacturing (LOM) of SiSiC Composites. *Adv Eng Mat* 2004; 6 (11): 899-903.
14. <http://www.szs-stupino.ru/primenenie-prepreg.html>
15. Klosterman DA, Chartoff RP, Osborne NR, Graves GA, Lightman A, Han G, et al. Development of a curved layer LOM process for monolithic ceramics and ceramic matrix composites. *Rapid Proto J* 1999; 5 (2) :61-71.
16. Shofner ML, Lozano K, Rodriguez-Marcias FJ, and Barrera EV. Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling. *J App Poly Sci* 2001; 89 (11): 3081-90.
17. Zhong W, Li F, Zhang Z, Song L, and Li Z. Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling. *Mat Sci and Eng A* 2001;301: 125- 30.
18. Gray IV RW, Baird DG, and Bohn JH. Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts. *Rapid Proto J* 1998; 4 (1): 14-25.
19. Liu W and Dupont JN. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineered Net Shaping. *Scripta Mater* 2003; 48: 1337-1342.
20. Kong CY and Soar RC. Fabrication of metal-matrix composites and adaptive composites using ultrasonic consolidation process. *Mat Sci and Eng A* 2005; 412 (1-2): 12-8.
21. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.* New York, USA: Springer, 2009. – 459 pp.
22. Janaki Ram GD, Robinson C, Yang Y, and Stucker BE. Use of ultrasonic consolidation for formation of mult-material structures. *Rapid Proto J* 2007; 13(4): 226-35.
23. <http://metalcomposit.ru/publikatsii/zarubezhnyiy-ryinok-primenenie-mmk-v-obshhem-mashinostroenii/>
24. Yang Y, Janaki Ram GD, and Stucker BE. Bond formation and fiber embedment during ultrasonic consolidation. *J Mat Pro Techno* 2009; 209 (10) 4915-24.

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СНАБЖЕНИЕМ
В МНОГОПРОФИЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЯХ, РАБОТАЮЩИХ НА РЫНКАХ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Г.Д. Антонов, д.э.н., проф., О.П. Иванова, д.э.н., проф.

НОУ ДПО «Институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров»

Кемеровский государственный университет

650060, г. Кемерово, ул. Мичурина 13 «А»

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: gda-kuzbass@rambler.ru, prof-ivanova@rambler.ru

Диверсифицированные корпорации способны лучше эксплуатировать источники ценности, занимаясь многочисленными направлениями бизнеса эффективнее, чем это делают специализированные фирмы. Однако, многопрофильные компании сталкиваются с проблемой структурирования компании и управления ею в целях наилучшей эксплуатации этих источников стоимости. Несмотря на теоретические аргументы в пользу корпораций, состоящих из множества подразделений, и эмпирические свидетельства ее эффективности, исследования показывают, что сочетание выгод от децентрализации и от координации до сих пор остается проблемой для многопрофильных компаний [1]. Генри Минцберг [2] указывает на две структурные особенности корпораций, состоящих из ряда подразделений, которые ограничивают децентрализацию и способность подразделений к адаптации. Во-первых, ограничения децентрализации, проявляющиеся в ограничении операционной свободы менеджеров подразделений корпоративным головным офисом в случаях каких-либо отклонений в деятельности подразделений. Во-вторых, проблемы сосуществования различных внутренних культур и систем управления разных подразделений, возможность дифференциации в соответствии с потребностями их бизнеса сталкиваются со стандартизацией менеджмента на уровне подразделений посредством общих систем контроля, процессов управления развитием, корпоративной культуры. Кро-

ме того, анализ практики функционирования многопрофильных корпораций, в частности, функционирующих на рынках машиностроительной отрасли, свидетельствует о том, что требуется решение проблем выбора корпоративной модели управления снабжением корпораций, прежде всего связанных с оптимизацией централизации и децентрализации функций снабжения.

В литературе [3-8] описаны подходы, разработанные в результате исследований, целью которых явилось изучение состояния и методов построения корпоративных систем снабжения ряда корпораций США и Западной Европы:

1. Подход, основанный на сочетании двух макрофакторов: гомогенности предприятий (схожести таких характеристик, как закупаемая номенклатура, используемые основные фонды, климатические условия функционирования, наличие общих поставщиков и т.п.) и развитости структуры снабжения на каждом предприятии;

2. Подход, предусматривающий выбор модели снабжения в зависимости от сочетания таких факторов как развитость функции снабжения и корпоративная когерентность, проявляющаяся в близости систем управления предприятий, входящих в корпорацию, общности их деловой культуры, наличии корпоративной идеологии и политики;

3. Подход, отражающий зависимость финансовых результатов корпорации от организации снабжения в условиях определенной полноты функций снабжения и степени уникальности готовой продукции.

В зависимости от парного сочетания оценок данных макрофакторов определяется целесообразность централизации, децентрализации или гибридная модель снабжения (кооперирование, общекорпоративные закупки под управлением ведущего закупщика одного из предприятий). Достоинства данных подходов не только в простоте и применении в каждом из них только двух обобщенных параметров, но и использовании простой шкалы оценок факторов: высокая – низкая.

Оценивая возможность применения данных подходов к определению модели снабжения в многопрофильной корпорации, следует проанализировать результат использования указанных факторов и правил выбора. Так, например, применение первого подхода, основанного на сочетании гомогенности предприятий и развитости структуры снабжения на каждом предприятии, к определению модели организации снабжения в многопрофильной корпорации позволило сделать следующие заключения. Во-первых, применительно к многопрофильной корпорации возникает необходимость корректировки показателя «гомогенность предприятия». Для многопрофильной корпорации, в частности, работающей и в машиностроении, имеет смысл применять лишь схожесть таких характеристик, как закупаемая номенклатура, климатические условия функционирования и наличие общих поставщиков. Во-вторых, наличие высокой гомогенности предприятий и развитой функции снабжения согласно правилам выбора модели снабжения данного подхода обуславливает необходимость децентрализации, поскольку децентрализованные службы снабжения сами способны обеспечить процесс закупок и поэтому, скорее всего не воспримут подразделение снабжения в корпоративном центре. Таким образом, не учитывается возможность получения преимуществ от централизации снабжения за счет консолидации объема закупок, т.е. снижения закупочных цен и затрат на функционирование децентрализованных служб снабжения.

Согласно правилам выбора второго подхода (сочетание факторов «корпоративная когерентность» и «развитость функции снабжения») наличие корпоративной стратегии, схожесть организационных структур предприятий и др., т.е. высокая корпоративная когерентность, а также развитость функции снабжения (например, наличие у каждого подразделения собственного снабженческого подразделения) следует снабжение централизовать. Таким образом, не учитывается специфика снабжения подразделений многопрофильной корпорации, в частности широкая номенклатура, что особенно характерно для рынка снабжения машиностроительных подразделений.

Согласно правилам выбора модели снабжения третьего подхода (сочетание факторов – полнота функций снабжения и степень уникальности готовой продукции) централизация снабжения выгодна при производстве относительно распространенного или сырьевого продукта, децентрализация – при производстве уникального продукта. Данный подход, очевидно, приемлем для вертикально-интегрированной компании, производящей один (уникальный или распространенный, сырьевой) продукт. В рамках же многопрофильной корпорации характеристики продукта по степени уникальности/распространенности различны для каждого подразделения. Данный аспект, прежде всего, характерен

для корпораций, в составе которых есть подразделения, выпускающие продукцию машиностроения. К тому же специализированные снабженческие службы подразделений, как правило, выполняет весь (а не узкий) спектр функций снабжения. В связи с этим использование данного подхода применительно к многопрофильной корпорации в указанном виде ведет к ошибочному выбору модели снабжения.

Базируясь на рассмотренных подходах, учитывая их преимущества и недостатки, сформируем правила выбора принципиальной модели организации снабжения в многопрофильной корпорации, путем уточнения перечня, сочетания и характеристик оцениваемых макрофакторов. Уточненный перечень и характеристика макрофакторов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень и характеристика факторов выбора модели снабжения многопрофильной корпорации, работающей на рынках машиностроительной отрасли

Макро-фактор	Фактор	Характеристика фактора
1	2	3
Корпоративная когерентность	Автономность подразделений	Ограниченная автономность подразделений
	Наличие корпоративной стратегии	Сложность стратегического планирования для многопрофильной корпорации
	Единая учетная политика	Сложность внедрения единой учетной политики
	Единая кадровая политика. Общая система обучения.	Возможность ведения единой кадровой политики и осуществления общей, многоотраслевой системы обучения
	Планирование деятельности	Планирование на уровне многопрофильной корпорации финансовых результатов и направлений развития.
	Общность использования единых транспортных коридоров	Использование единых транспортных коридоров (внутренних и внешних) при наличии территориального единства, территориальной близости
Развитость и полнота функций снабжения*	Качество выполнения функций снабжения	Как правило, применительно к разным подразделениям, оценивается высоко, поскольку децентрализация снабжения обуславливает необходимость освоения и развития всех функций снабжения, оргтехнической, информационной, технической обеспеченности
	Оргтехническая и информационная вооруженность работников служб снабжения	
	Техническое обеспечение снабжения	
	Развитость маркетинговой функции	Маркетинг снабжения (прежде всего изучение рынка поставщиков), как правило, требует совершенствования во многих многопрофильных корпорациях
	Развитость функции транспортной логистики	Сложность внедрения транспортной логистики для многопрофильной корпорации. Различная степень развитости для отдельных подразделений, зависящая от отраслевой его принадлежности.
	Эффективность организационно-функциональной структуры	Как правило, существует дублирование функций, проблемы распределения функций снабжения внутри системы корпоративного снабжения.
	Степень готовности к развитию	Зависит от корпоративной стратегии, квалификации специалистов по снабжению, системы мотивации персонала
	Разнообразие приемов и навыков, используемых при закупках	Во многом зависит от квалификации специалистов служб снабжения
	Квалификация специалистов по снабжению*	Как правило, требует повышения

Международная научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы современного машиностроения»

Макро-фактор	Фактор	Характеристика фактора
Уникальность выпускаемой продукции	Стратегия корпорации в отношении приобретения предприятий/слияний с предприятиями иной продуктовой направленности	Диверсификация способствует возможности сочетания производств для выпуска уникального конкурентоспособного продукта
	Возможность сочетания (синергии) потенциалов подразделений для выпуска уникального продукта*	Диверсификация способствует возможности сочетания производств для выпуска уникального конкурентоспособного продукта.
	Высокая динамика технологического прогресса в отрасли	Требует высокой квалификации специалистов по снабжению, развитости маркетинговой функции в снабжении, системы обучения в подразделении.

* - означает, что фактор добавлен или уточнен авторами.

Поскольку в многопрофильной корпорации гомогенность подразделений априори низка, использовать данный фактор не имеет смысла. Следует оценивать возможность синергии от сочетания потенциалов подразделений разных отраслей для выпуска новой, уникальной, конкурентоспособной продукции, в том числе машиностроения. Считаем возможным в качестве объединенного макрофактора оценивать и полноту, и развитость функции снабжения. Собственно развитость функции снабжения в определенной степени невозможна без полноты используемых подфункций снабжения. Таким образом, из пяти макрофакторов, рассматриваемых для выбора корпоративной модели снабжения нами выделены три: корпоративная когерентность, развитость и полнота функций снабжения, уникальность выпускаемой продукции.

Выбор модели снабжения (централизованной, децентрализованной, гибридной (смешанной)) многопрофильной корпорации предполагает анализ возможных вариантов сочетания данных макрофакторов при их низкой или высокой оценке (табл. 2). Предпочтительной моделью корпоративного снабжения в большинстве вариантов сочетания факторов является гибридная (смешанная) модель. Таким образом, для обеспечения применимости подходов к выбору принципиальной модели организации снабжения в многопрофильной корпорации уточнены перечень, характеристика и сочетание оцениваемых макрофакторов.

Таблица 2

Выбор принципиальной модели снабжения
на основе оценок и сочетания макрофакторов

Оценки факторов (низкий уровень, высокий уровень)			Предпочтительная модель снабжения
Корпоративная когерентность	Развитость и полнота функций снабжения	Уникальность продукта	
низкий уровень	низкий уровень	низкий уровень	Децентрализация
низкий уровень	низкий уровень	высокий уровень	Гибридная модель (сочетание децентрализации с формированием групп, объединяющих несколько закупщиков)
высокий уровень	низкий уровень	низкий уровень	Централизация
низкий уровень	высокий уровень	низкий уровень	Децентрализация
высокий уровень	высокий уровень	высокий уровень	Гибридная модель с развитым управляющим корпоративным центром

Оценки факторов (низкий уровень, высокий уровень)			Предпочтительная модель снабжения
Корпоративная когерентность	Развитость и полнота функций снабжения	Уникальность продукта	
высокий уровень	высокий уровень	низкий уровень	Вариант гибридной модели с координацией из центра
низкий уровень	высокий уровень	высокий уровень	Гибридная модель (сочетание децентрализации с формированием групп, объединяющих несколько закущиков)
высокий уровень	низкий уровень	высокий уровень	Централизация

Сочетание данных макрофакторов дает возможность определения принципиальной модели снабжения (централизация, децентрализация, гибридная (смешанная)).

Таким образом, в результате модернизации рассмотренных методов построения корпоративных систем снабжения применительно к многоотраслевым корпорациям, в частности, функционирующих на рынке машиностроения, авторами предложен подход к выбору оптимальной модели снабжения в многопрофильной корпорации. В частности, сформирована матрица сочетания макрофакторов, влияющих на выбор принципиальной модели снабжения (централизации, децентрализации, гибридной (смешанной)). Уточнены перечень, характеристика и сочетание оцениваемых макрофакторов.

Литература.

1. Грант Р.М. Современный стратегический анализ. 5-е изд. /Пер. с англ. Под ред. В.Н. Фунтова. – СПб.: Питер, 2008.
2. Henry Mintzberg. Structure in Fives: Designing Effective Organizations (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983): Chapter 11.
3. David J.S., Hwang Y., Reneau J.H/ (1999). The Impact of Purchasing on Financial Perfomance. Arisona State Univesity, 1999.
4. Fearon H.E., Leenders M.R. (1996). Purchasing's Organizational Roles and Responsibilites. Center for Advanced Purchasing Studies, Tempe, FArizona.
5. Rozenmeijer F.A.(2000). Creting Corporate Advatage in Purchasing. Technische Universitet Eindhoven.
6. "Sappi looks on PAPER" Purchasing Magasine, Dezember, 8. URL: http://www.purchasing.com/articit/2221156-Sappi_looks_on_PAPER.php (дата обращения: 10.01.2012)
7. Белов Л.В. Выбор модели корпоративного снабжения: метод экспертной оценки//Логистика сегодня. – 2010. №2, с. 92-101
8. Белов Л.Б. Основные подходы к выбору модели материально-технического снабжения холдинга//Логистика и управление цепями поставок. – 2009. - №6

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СЕТЕВЫХ И ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР В МАШИНОСТРОЕНИИ

Г.Д. Антонов, д.э.н., проф., О.П. Иванова, д.э.н., проф.

НОУ ДПО «Институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров»

Кемеровский государственный университет

650060, г. Кемерово, ул. Мичурина 13 «А»

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: gda-kuzbass@rambler.ru, prof-ivanova@rambler.ru

Введение

Машиностроительные корпорации, как и другие организации, находятся в поиске решения проблемы нахождения компромисса между специализацией, координацией и сотрудничеством. Изменения технологии, стратегии и окружающей среды обуславливают то, что компании перестраивают прежнюю организационную структуру, меняют принципы структурирования корпораций. При этом степень координации является не единственным фактором, влияющим на эффективность определения организационных единиц. Для машиностроительных корпораций такими факторами являются

ся не только экономия на масштабе производства, но и стремление к созданию систематизированных знаний (комплекса специализированных знаний) путем формирования многофункциональных рабочих групп, включающих специалистов в разных областях знания [1]. Именно такие группы эффективны для продуцирования идей, способных лечь в основу формирования конкурентных преимуществ.

В связи с тем, что различные функции корпорации стремятся в большей степени к взаимозависимости, чем к неструктурированному объединению, иногда основания для децентрализации уменьшаются. Исследования свидетельствуют, что корпорации, находящиеся на стадии зрелости, нуждаются в усилении централизованного контроля и функциональной координации. Так, например, General Motors на определенном этапе своего развития осуществила слияние отдельных подразделений в единую функционально-организованную структуру. Это обеспечило ей возможность получить эффект масштаба и ускорить передачу технологий [1].

Но рост затрат, связанных с иерархическим подходом к координации, стимулирует поиск альтернатив административной иерархии. Такой альтернативой для машиностроительных предприятий является сетизация – создание сетевых фирм. Мировое машиностроение ориентируется на изменение организационной структуры, стремясь к стратегическим альянсам и сетевым структурам. Основные черты такой организационной формы: ориентация на координацию, а не на контроль; достижение координации посредством взаимной адаптации.

В научной литературе описаны как преимущества интеграции, так и положительные результаты создания сетевых структур. Процессы интеграции сменяются процессами дезинтеграции и переходом к стратегическим альянсам и сетевым структурам. Но, зачастую, созданные в процессе слияния или поглощения интегрированные образования распадаются. Эффективность и конкурентоспособность интегрированных компаний во многом зависит от обоснованности состава и объединяемых сфер деятельности участников. Возникает проблема поиска подхода к управлению интеграционными процессами в машиностроении, базирующегося на сочетании интеграции и самостоятельности участников объединения.

Систематизация теоретических концепций и анализ практики интеграции

Анализ ряда теоретических подходов к исследованию интеграционных процессов, а именно: институциональной экономической теории Р. Коуза, К. Эрроу, О. Уильямсона, Ф. Хайека, транзакционного подхода О. Уильямсона, концепции соответствия организационной структуры компании ее стратегии А.Чандлера и И. Ансоффа, ресурсоориентированных концепций диверсификации Э.Пенроуза, Дж. Пфеффера, С. Чэттерджи, М.Портера, Д. Тиса и др., концепции на основе структуры рынков, концепции на основе внутрифирменного рынка капитала, концепции стратегических матриц, концепции рационального использования ресурсов – концепции производственной эффективности Д. Тиса, концепции промышленной организации Э. Мейсона, теории агентских отношений А. Берля, Г. Минза, М. Дженсена, К. Бодро, теории прав собственности, синергетической теории слияний М. Бредли, А. Десаи, Е.Н. Ким, теории гордыни Р. Ролла, также исследований Э.Йордона, М.Кристофера, Т.Дж.Галлина и М.Хэндона, М.Гаррета и П.Дюсюжа позволяет сделать следующие выводы. Указанные концепции преимущественно рассматривают мотивы и предпосылки интеграции не в сумме, а по отдельности, объясняют интеграционные процессы стремлением достичь определенных целей. Так, например, синергетический эффект интеграции возникает в связи с централизацией управления (теории Р. Бюнера, Ю. Кордеса), в результате совместного использования производственных материальных ресурсов (концепция производственной эффективности Д. Тиса), в итоге создания внутрифирменного рынка капитала (концепция на основе внутрифирменного рынка капитала), перераспределения и концентрации финансовых ресурсов, использования внутрифирменных механизмов координации рыночной политики (концепция промышленной организации). Необходимость интеграции связывается с колебаниями спроса и трудностью прогнозирования (концепция на основе структуры рынка). Не рассматривается многообразие мотивов интеграции, не учитывается влияние внешних факторов на принятие решения об интеграции (теория агентских отношений, теория собственности). Кроме того, для принятия решений недостаточно двух – трех показателей или факторов, по которым производится позиционирование. Так, в условиях стагнации экономики или кризиса, по меньшей мере, две трети подразделений компаний в соответствии с матрицей подлежат закрытию или продаже, в заданных параметрах невозможна идентификация некоторых сфер деятельности (концепция стратегических матриц). Анализ только структуры рынков (концепция промышленной организации) или вмененных издержек явно сужает область оценки необходимых для

принятия решения об интеграции факторов. Не рассматривается влияние отраслевой специфики на определение формы интеграционного образования, объединяемых видов деятельности. В концепциях не исследуются процесс создания интегрированных структур, механизмы организации взаимодействия между предприятиями.

Поскольку одной из главных задач, которую авторы стремились решить, является разработка практического подхода к управлению интеграционными процессами в машиностроении, необходимым представляется рассмотреть опыт российских промышленных предприятий в сфере интеграции.

По признаку принятия решения об интеграции, механизму и критериям выбора субъектов для интеграции выделяются применяемые в российской практике, подходы:

- технологический - предприятия объединяются по технологической цепочке, оценивается технологическая совместимость, специфичность активов;
- ситуационный - решения об интеграции принимаются, исходя из мотивов, обусловленных внутренними проблемами предприятий (ситуаций), субъект для интеграции выбирается, исходя из стремления достичь сохранения управляемости, целостности производственного комплекса, увеличения доли рынка, защиты от монополизма поставщиков и др.;
- подход "свободные деньги" (его также по сути можно назвать случайным подходом) - решения об интеграции принимаются, исходя из наличия свободных денежных средств и желания их вложить. Субъект для интеграции выбирается по критерию - дешевизна продажи.

И при технологическом, и ситуационном, и случайном подходах в первую очередь учитываются внутренние факторы - технологическая совместимость предприятий, мотивы, наличие свободных денежных средств.

Недостатки применяемых в российской практике подходов: оценка эффективности или целесообразности интеграции не учитывает плюсы и минусы объединения с конкретным субъектом; интеграция не рассматривается как стратегия поведения компании на рынке. Практика свидетельствует, что зачастую создание интегрированных групп не является областью стратегического планирования, процесс скорее спонтанный, ситуационный или вынужденный в силу специфичности активов.

Результат

При построении интегрированных и сетевых структур в машиностроении, по нашему мнению, должны быть учтены следующие положения теоретических концепций и исследований:

- возможность получения синергетического эффекта от интеграции при централизации управленческих функций, финансовой и учетной деятельности, снабжения (О. Уильямсон, Р. Бюнер, Ю. Кордес);
- возможность более эффективного внутрифирменного контроля на основе внутренней информации, регулирования и координации хозяйственной деятельности участников компании в результате организации внутрикорпоративного финансового рынка (концепция на основе внутрифирменного рынка капитала);
- повышение общекорпоративной прибыли интегрированной компании за счет системы внутрифирменных трансфертов, комплектных поставок товаров (А. Гримм);
- эффективность организации сетей поставщиков, производителей, потребительских сетей и сетей технологической кооперации (Д. Эрнст);
- преимущества формирования индустриальных сетей (industrial networks), технологических цепей (commodity chain), цепочек поставок (supply chains) и создания стоимости (value chains) (Э.Йордона, М.Кристофера, Т.Дж.Галлина и М.Хэндона, М.Гаррета и П.Дюсюжа).
- Предлагаем основные принципы методического подхода к формированию интегрированных и сетевых структур в машиностроении:
- использование стратегии интеграции в целях получения синергетических эффектов от централизации управления, финансов, учета, маркетинга, снабжения, сбыта;
- использование стратегии сетизации с целью получения преимуществ от способности к координации сетевых структур, адаптации к изменяющимся условиям, быстрой реакции на изменение конъюнктуры, специализации, сокращения издержек.

Алгоритм формирования эффективных структур в машиностроении с использованием стратегий сетизации и интеграции заключается в поэтапности организационных трансформаций.

Первый этап. В процессе организационного проектирования объединения машиностроительных предприятий, прежде всего, необходимо учесть потребности предприятий – участников в определенных типах целевого взаимодействия, определяющих мотивацию к объединению (централиза-

цию снабжения, сбыта, маркетинга), использование общих экономически выгодных поставщиков, проведение единой научно-технической политики, обмен опытом работы; централизацию выполнения отдельных управленческих функций, согласованные действия по удержанию и расширению позиций на рынке.

На разных этапах жизненного цикла интегрированной компании и в зависимости от влияния внешних факторов могут объединяться разные сферы деятельности (производство, сбыт, маркетинг, управление, учет и др.). Это зависит от форм интеграции (вертикальная, горизонтальная, конгломерат), мотивов, во многом – от факторов внешней среды. Объединение практически всех сфер деятельности обуславливают такие факторы внешней среды, как конъюнктура рынков, изменения спроса, цен, конкуренции, рост транзакционных издержек. Данные факторы исследуются маркетинговыми инструментами (изучение потребителей, спроса, конкурентная разведка и т.д.). Выбор тех или иных сфер деятельности, объединяемых в корпорации, целесообразно обосновывать на основе анализа не только результатов маркетинговых исследований, но и состояния предприятий и проблем их функционирования. Очередность объединения различных видов деятельности, выбор субъектов для интеграции и сетизации осуществляется при сравнительном анализе эффектов от интеграции (в зависимости от целей и предпосылок объединения) и сетизации.

Второй этап предусматривает выбор основных направлений деятельности компаний в стратегической перспективе, построение структур, активно работающих на рынок, прежде всего маркетинговых, снабженческо-сбытовых, конструкторских, отработку на уровне локальных подразделений будущих общих внутриорганизационных решений и подходов, совершенствование планирования и контроля, структурную перестройку подразделений компании для обеспечения максимального их соответствия корпоративным интересам.

Мировая практика свидетельствует, что организационная структура управления эффективна при оптимальном сочетании централизации и децентрализации. Эффективное функционирование машиностроительной компании предполагает наличие отлаженного механизма взаимодействия предприятий-участников. Необходимо звено, позволяющее централизованно управлять сырьевыми и товарными потоками, осуществляющее снабженческие операции и сбыт продукции компании. В связи с этим предусматривается централизация в интегрированной компании маркетинга, управления, в том числе финансового, планирования (производства, бюджета и др.), конструкторского проектирования и экспериментального производства, сбыта, снабжения. Фактически управляющая компания осуществляет изучение рынка, разработку стратегии, планирование производства и бюджета, распределяет заказы между участниками сети.

Третий этап создания интегрированной компании. При создании и функционировании машиностроительных компаний необходимо ответить на вопросы: использовать собственные ресурсы, включить в состав компании необходимые активы (предприятия, производства, организации) или сформировать сеть, объединить усилия нескольких взаимодействующих субъектов? В связи с этим актуальна разработка принципов управления сетью предприятий. Подразумевается, что необходимо определить субъекты компании, которые должны объединяться путем слияний и поглощений, а также субъектов, с которыми взаимодействие строится на базе сетизации. Чтобы такая сеть была управляемой с точки зрения компании, ее создающей, необходимо определить оптимальный состав участников сети и выбрать стратегию управления взаимоотношениями с каждым из участников. Организационная модель сетизации в машиностроении – сеть, формирующаяся вокруг управляющей компании. Управляющая компания собирает вокруг себя предприятия в производственную и деловые сети, поручая им выполнение определенных видов деятельности: производство, маркетинг или реализацию. Управляющая компания является головным заказчиком и занимает доминирующее положение в деловых операциях.

Ориентация на стратегию сетизации на третьем этапе как инструмент организационного развития позволяет решать проблемы, связанные не только с характеристиками рыночного окружения, но и с внутренней организационной сложностью промышленных предприятий, низкой адаптивностью системы управления, функциональной рассогласованностью отдельных субъектов и структурных звеньев при реализации управленческих решений. Промышленные и деловые сети формируют "благоприятное" рыночное окружение через устойчивые межорганизационные связи. Изменение конфигурации субъектов способствует сокращению непроизводственных затрат и повышению эффективности хозяйственной деятельности. Формирование и развитие отраслевой интегрированной компании и сетей (производственной и деловой) основано на комбинации ключевых компетенций

крупного (интегрированная компания, машиностроительные предприятия), среднего (машиностроительные предприятия), малого (вспомогательные, обслуживающие, сервисные предприятия) бизнеса. Автономия не вошедших в состав компании субъектов, в сочетании с четкими правилами межорганизационного взаимодействия инициирует возникновение в сетях устойчивого синергетического эффекта. Способ регулирования отношений, объединяющих участников сети, отличается от чисто рыночного конкурентного механизма, что позволяет сократить транзакционные издержки, гибко приспосабливаться к изменениям рыночной конъюнктуры, распределив соответствующие риски между участниками сетевой структуры.

Формирование сетевой структуры в машиностроении связано с переходом от массового производства стандартной продукции к мелкосерийному и индивидуальному производству технически сложной и наукоемкой продукции с использованием разнообразных технологий по заказу конкретных потребителей. Сети отличает сотрудничество (совместное создание стоимости, а не просто рыночный обмен) и особая роль внутренней инфраструктуры, межличностных связей, передачи знаний [20].

Отраслевая структура, включающая в качестве ядра управляющую компанию и сети предприятий, обладает рядом преимуществ перед структурами, имеющими жесткие юридические рамки:

- свобода «входа» и «выхода» из сети и кооперационных связей;
- развиваются и крепнут наиболее эффективные кооперационные связи, менее эффективные легко отмирают;
- неограниченное число участников, сколь угодно «длинные» цепи взаимосвязей (технологических, экономических, финансовых);
- способность интегрировать ресурсы разного числа участников структуры для инвестирования проектов, направленных на создание новых и совершенствование производств и коопераций;
- минимизация транзакционных издержек.

Полная интеграция позволяет в максимальной мере реализовать эффект экономии на масштабах. Неполная интеграция по сравнению с полной обладает сравнительно большей гибкостью поставок и контракций, требует меньше вложений, позволяет снизить недостатки замкнутости системы, например, в информационном обеспечении бизнеса и в НИОКР. К преимуществам функционирования такой структуры мы отнесем также гибкость (наиболее эффективны в динамичной среде), оперативность принятия решений, междисциплинарный подход, быстрое решение сложных межфункциональных проблем, ориентация на новые рынки, ориентация на неценовую конкуренцию. Надо отметить, что мягкие организационные формы интеграции не являются жизнеспособной формой взаимодействия предприятий по той причине, что заложенный в них организационно-экономический механизм не отвечает требованиям механизма интеграции. Совокупность предприятий отрасли, входящих в ассоциацию, не представляет собой единый объект собственности, а потому и управления. Отсутствие административных и экономических средств воздействия на предприятия не позволяет построить жесткую вертикаль управления и проводить единую политику в интересах объединения. Поэтому данная модель интеграции быстро исчерпывает свои возможности. В связи с этим мягкая форма интеграции на определенном этапе должна «переродиться» в жесткую (холдинг), основанную не только на объединении интересов, но и на объединении капиталов.

Предлагаемый поэтапный механизм формирования компании предполагает постепенное увеличение границ жестко интегрированной компании за счет включения участников производственной и деловой сетей. Такой механизм имеет преимущества перед другими формами организационного и создания компаний: во-первых, позволяет избежать просчетов и ошибок при определении состава и видов объединяемой в рамках компании деятельности; во-вторых, функционирование в составе сети позволит выявить проблемы взаимодействия, точки соприкосновения, перспективные направления совместной деятельности, отработать правила взаимодействия. По сути, второй и третий этапы функционирования модели – «интегрированная компания – ядро плюс сети» позволяет оптимально, без просчетов, ошибок, эволюционным путем сформировать эффективную интегрированную машиностроительную компанию, обосновать состав ее участников, отработать схему взаимодействия.

Четвертый этап формирования интегрированной структуры. В целях формирования эффективного и обоснованного состава интегрированной компании необходимо объединение хозяйствующих субъектов проводить на основе стратегии интеграции, которая содержит ответы на следующие вопросы:

- Цели объединения (Для чего объединять?). Поиск и анализ рыночных возможностей.
- Объединяемые виды деятельности. Что объединять (сбыт, снабжение, маркетинг, производство, финансы)?

- Участники интеграции. С кем объединяться? Определение оптимального состава интегрированной компании.
- Механизм интеграции. Как объединяться? Выбор стратегии управления взаимоотношениями с участниками компании.

Также предусматриваются формирование подразделений управляющего холдинга, создание единой интегрированной системы управленческого анализа, учета и контроля. Формирование холдинга происходит за счет интеграции участников сети. Выбор предприятий для интеграции осуществляется на основе оценки эффектов от объединения определенных видов деятельности с конкретным субъектом. Рекомендуется в составе управляющего холдинга выделить следующие подразделения: департамент стратегического планирования и координации взаимодействия между участниками холдинга; отдел маркетинга (планирование ассортимента, разработка стратегии маркетинга т.д.); финансово-экономическое управление; отдел инвестиций и НИОКР.

Заключение

Таким образом, на основе анализа практики создания и деятельности интегрированных структур в машиностроении РФ и за рубежом разработаны основные положения методического подхода к формированию интегрированных машиностроительных компаний. Методический подход базируется на положениях теоретических концепций интеграции (эффективность централизации управленческих функций, учета, финансов, снабжения и сбыта), поэтапном применении стратегий сетизации и интеграции предприятий отрасли.

Литература.

1. Грант Р.М. Современный стратегический анализ. 5-е изд. /Пер. с англ. Под ред. В.Н. Фунтова. – СПб.: Питер, 2008.
2. Drucher P. Management challenges for the 21 century. – N.Y., Harper Business, 1999. – 400 p.
3. Ансофф Х., Бранденбург Р. Методика проектирования организационных структур (Внутрифирменное планирование в США). – М.: Экономика, 1972.
4. Коуз Р. Институциональная структура производства // Вестник СпбГУ. Серия “Экономика”. - 1992. - №4.
5. Коуз Р. Фирма, рынок и право. Пер. с англ. – М.: Дело ЛТД, 1993.
6. Уильямсон О. Поведенческие предпосылки современного экономического анализа // THESIS. – 1991 Т.1, вып3.
7. Уильямсон О.И. Экономические институты капитализма: Фирмы, рынки, «отношенческая» контракция. – СПб: Лениздат; CEV Press, 1996.
8. Шумпетер Й. Капитализм, социализм и демократия. – М., 1995.
9. Эрроу К. Неполное знание и экономический анализ // Истоки. - 2000. Вып. 4.
10. Buehner R. Strategie und Organisation; - Aufl., Wiesbaden 1995.
11. Buehner R. Management Holding. Unternehmensstruktur der Zukunft; Landsberg/Lech, 1992.
12. Chandler A.D. Strategy and Structure. - Cambridge. Massachusetts: M.I.T. Press, 1962.
13. Chatterjee S. Extending modern portfolio theory into the domain of corporate diversification: does It apply? // Academy of Management Journal, 1994, Vol.37(1).
14. Coase R. Comments.- Contract Economics: Blackwell Publishers, 1992. p. 73.
15. Coase R.H. The Problem of Social Cost // of Law and Economics. 1960, Vol. 3.
16. Hayek F. Law, Legislation and Liberty: A New Statement of the Liberal Principles of Justice and Political Economy. Vol.1: Rules and Order. – L.: Routledge, 1973.
17. Jensen M.C. Separation of Ownership and Control // Journal of Law and Economics. – 1983. – June, 26. – P.301-325.
18. Roll R. The Hubris Hypothesis of Corporate takeovers // Journal of Business. – 1986. – Vol.59, No.2. – p.197-216.
19. Williamson, O.E. The modern corporation: origins, evolution, attributes, Journal of Economic Literature, 19 (December), 1537-68.
20. Петров А.Б. Интегрированная сетевая фирма как институт постиндустриальной экономики// Научная перспектива. 2011. № 2. - С.10-16.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЯ В РАМКАХ ВЫПОЛНЕНИЯ
ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА НА СТАДИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ И
ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА**

*А.В. Косовец, ст. преподаватель, Д.Н. Нестерук, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: sa352@mail.ru, nesteruk@list.ru*

Особое внимание, которое уделяется, инновациям и инновационному развитию продиктовано самой жизнью современного общества, т.к. воплощение инновационных процессов в новых продуктах и новой технике являются основой его социально-экономического развития. Общество, выбравшее инновационный путь развития, не может успешно развиваться без освоения достижений науки, создания новых технологий и развития на их основе успешных инновационных бизнесов практически в любой сфере деятельности.

Инновационные проекты обладают повышенной степенью риска, но при этом создают возможность получения высокой отдачи на вложенный капитал. Реализация инновационных проектов должна способствовать эффективному переводу результатов научных исследований и разработок в коммерческие результаты.

В настоящее время в мире и России широкое распространение получила инновационная деятельность. Государство проводит прогнозные исследования по определению перспективных направлений научно-технического и технологического развития, оценки последствий принимаемых управленческих решений в научно-технической сфере [1].

Для обеспечения инновационного развития отраслей экономики посредством создания востребованного научно-технологического задела государством разрабатываются и проводятся мероприятия, которые поддерживают прикладные проблемно ориентированные исследования, направленные на формирование научно-технологического задела для выполнения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ и далее промышленного внедрения результатов. Как правило поддерживаемые исследования ограничиваются докоммерческой стадией – разработкой и испытаниями опытных или экспериментальных образцов продукции (материалов, изделий, оборудования), разработкой технологий и рекомендаций по созданию технических нововведений.

Одной из основных задач, решаемых в ходе реализации проекта, таких как разработка технического предложения, эскизного и технического проекта, разработка конструкторской документации и создания опытного образца изделия, является технико-экономическое сопровождение на всех этапах проекта. Перед специалистами экономического направления стоит нелегкая задача по определению себестоимости создаваемого изделия.

Рассматривая параметры и показатели проектируемой техники в динамике, то есть в процессе их изменения в результате тех или иных принимаемых решений, возникает необходимость поиска наилучшего их сочетания, которое обеспечит наибольшую эффективность. Выбрать и принять наилучший вариант можно посредством технико-экономического сопровождения и анализа разрабатываемых вариантов и взаимосвязей систем изделия.

Таким образом, технико-экономическое сопровождение (ТЭС) – это исследование, направленное на повышение экономической эффективности инженерных решений, принимаемых в процессе создания техники на различных этапах.

Планирование себестоимости изделий на стадии проектирования является актуальной задачей в современных рыночных условиях. Прибыльность проекта можно определить путем сопоставления уровня цен на аналогичную продукцию и затрат на производство новой техники. Однако, такая оценка возможна лишь при наличии точного метода определения себестоимости, что невозможно осуществить на стадии проектирования и эскизного проекта, т. к. имеется достаточно большая погрешность.

Надо иметь в виду, что в начале работы информация по проектируемому изделию часто состоит из нескольких его основных параметров. Постепенно, по мере разработки конструкторской документации, появляются численные значения параметров агрегатов изделия, а к концу разработки рабочей документации – данные по узлам, деталям, материалам, результатам испытания макетов и опытных образцов и т.д.

В настоящее время существуют два подхода к определению себестоимости изделия на проектных стадиях: первый опирается на нахождение затрат на изготовление отдельных конструктивных систем изделия, второй основан на определении затрат по статьям калькуляции.

1 Техническое предложение

На этапе технического задания и технического предложения формируются основные системы конструкции создаваемой техники, устанавливаются все необходимые экономические показатели и экономические требования к разрабатываемому изделию. Проводится экономическое обоснование необходимости разработки изделия и определение уровня расчётной цены изделия.

В общем случае при разработке технического предложения проводят следующие работы:

а) выявление вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (принципов действия, размещения функциональных составных частей и т.п.), их конструкторскую проработку. Глубина такой проработки должна быть достаточной для сравнительной оценки рассматриваемых вариантов;

б) проверку вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;

в) проверку соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

г) сравнительную оценку рассматриваемых вариантов. Сравнение проводится по показателям качества изделия, например, надежности, экономическим, эстетическим, эргономическим. Сопоставление вариантов может проводиться также по показателям технологичности (ориентировочной удельной трудоемкости изготовления, ориентировочной удельной материалоемкости и др.), стандартизации и унификации. При этом следует учитывать конструктивные и эксплуатационные особенности разрабатываемого и существующих изделий, тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области, вопросы метрологического обеспечения разрабатываемого изделия (возможности выбора методов и средств измерения).

д) выбор оптимального варианта (вариантов) изделия, обоснование выбора; установление требований к изделию (технических характеристик, показателей качества и др.) и к последующей стадии разработки изделия (необходимые работы, варианты возможных решений, которые следует рассмотреть на последующей стадии и др.);

е) подготовку предложений по разработке стандартов (пересмотр или внесение изменений в действующие стандарты), предусмотренных техническим заданием на данной стадии.

ж) проработку вопросов, обеспечивающих возможность использования конструкторской документации в электронной форме на последующих стадиях разработки. [2]

В условиях недостаточной информационной базы наиболее применимым является укрупненный метод планирования себестоимости изделия на основе систем конструктивной разбивки (СКР) в сочетании с интуитивным анализом, который основывается на опыте и таланте проектировщиков, не имеет строго очерченных границ и последовательности, хотя, как и любой технико-экономический анализ (ТЭА), направлен на повышение экономической эффективности инженерных решений, принимаемых в процессе создания техники

На стадии технического предложения расчет себестоимости производится по СКР с учетом технико-экономических характеристик каждой системы по следующему алгоритму:

1 рассчитывается ориентировочная масса системы;

2 определяется количество и сложность изготовления деталей и узлов системы;

3 подбирается аналог системы или элементов-аналогов, входящих в систему.

Данные этапы работ, как правило, осуществляются с использованием мнения специалистов-экспертов и разработчиков проекта [3].

Рассчитать себестоимость изделия по первым двум пунктам можно по следующей формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n Mi \times Ц \times Ксл.i \quad (1)$$

где: Mi - масса i системы изделия;

$Ц$ - стоимость одного кг (тонны) системы;

$Ксл.i$ - коэффициент сложности i системы.

Характеристики групп сложности изделия приведены в таблице 1. Определение групп и коэффициентов сложности производилось на основе анализа конструкции и требований к основным системам геохода – многоцелевого проходческого агрегата нового вида [3-7].

Таблица 1

Характеристики групп сложности изделия	
Группы сложности разрабатываемого изделия	Характеристика группы сложности
1	Серийно выпускаемые изделия.
2	Машины и их узлы, которые можно проектировать по подобию существующих аналогов.
3	Машины и узлы, предназначенные для выполнения типовых операций, но требующие адаптацию под новые условия.
4	Машины и узлы, предназначенные для выполнения типовых операций, адаптация которых под новые условия ведет к созданию интеллектуальной собственности (новые технологические решения, патенты).
5	Машины и узлы, которые: <ul style="list-style-type: none"> - являются разработкой оборудования, предназначенного для реализации новых способов и методов решения производственных и технологических задач, создание новых технологий; - не имеют аналогов среди серийно выпускаемой продукции, либо существующие аналоги требуют внесения конструктивных изменений, существенно влияющих на их характеристики; - их изготовление требуют решения научных и сложных инженерных задач.
6	Машины и узлы, которые: <ul style="list-style-type: none"> - являются разработкой концептуально новых видов оборудования, предназначенного для реализации новых способов и методов решения производственных и технологических задач, создание новых технологий. - не имеют аналогов среди серийно выпускаемой продукции; - их изготовление требует решения научных и сложных инженерных задач.

Параметры расчета стоимости одного килограмма системы и коэффициента сложности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры стоимости системы и коэффициента сложности			
№ п/п	Группа сложности системы изделия	Коэффициент сложности	Стоимость кг. системы, у.е.*
1	1	1,00	20
2	2	1,60	32
3	3	2,60	52
4	4	4,00	80
5	5	6,30	126
6	6	10,00	200

Коэффициенты сложности деталей и узлов систем изделия и стоимость одного килограмма принимаются и рассчитываются разработчиками и экспертами самостоятельно, в зависимости от назначения изделия, габаритно-массовых характеристик и предполагаемой технологии изготовления. Если имеется возможность определить примерный состав системы изделия, то коэффициенты сложности определяются для каждого узла или детали и рассчитывается средний коэффициент сложности данной системы.

Укрупненный расчет себестоимости изделия на стадии технического предложения позволяет оценить перспективу и целесообразность дальнейших работ.

2. Эскизный проект

На стадии эскизного проекта рассматриваются и утверждаются принципиальные конструктивные решения, дающие представление об изделии и принципе его работы, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры. На этой стадии разрабатывается документация для изготовления макетов, осуществляется их изготовление и испытания, после чего корректируется конструкторская документация. Пояснительная часть эскизного проекта содержит расчет основных параметров конструкции, описание эксплуатационных особенностей и примерный перечень работ по технической подготовке производства.

Таким образом, эскизный проект дает конструктивное оформление будущей конструкции изделия, включая чертежи общего вида, функциональные модули, основные входные и выходные технические параметры узлов.

В состав задач эскизного проекта входит и разработка различных руководящих указаний по обеспечению на последующих стадиях технологичности, надежности, стандартизации и унификации, а также составление ведомости спецификаций материалов и комплектующих изделий на опытные образцы. Макет изделия позволяет добиться удачной компоновки отдельных частей, найти более правильные эстетические и эргономические решения и тем самым ускорить разработку конструкторской документации на последующих стадиях. Эскизный проект проходит те же стадии согласования и утверждения, что и техническое задание.

Уточняющий расчет себестоимости изделия на стадии эскизного проекта можно выполнить по следующей формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n M_i \times C \times K_{сл.i} + \sum_{i=1}^n ЦПКИ_i \quad (2)$$

где: M_i - масса i -го узла или детали системы;

C - стоимость одного кг узла или детали;

$K_{сл.i}$ - коэффициент сложности i -го узла или детали системы;

$ЦПКИ_i$ - стоимость покупных комплектующих изделий, входящих в систему изделия.

Коэффициенты сложности деталей и узлов систем изделия и стоимость одного килограмма принимаются и рассчитываются по критериям, принятым в техническом предложении.

Процесс создания и освоения новой техники представляет собой систему взаимосвязанных этапов (локальных задач), на каждом из которых стадии решения задач одни и те же. Поэтому аналитическая работа пронизывает все этапы создания и освоения новой техники. В процессе анализа отрабатываются конструктивные варианты, устанавливаются размерные, динамические, энергетические и другие характеристики, оцениваются экономические показатели, которые позволяют сравнивать варианты между собой.

Таким образом, на начальных этапах проектирования изделия осуществляют такие расчеты и технико-экономические обоснования, как:

- на этапе "Техническое задание" - экономически обоснованная целесообразность конструкторской разработки, расчет предварительной эффективности, определение предельной цены, ориентировочный спрос, технический уровень изделия;

- на этапе "Техническое предложение" - проверка изделия на конкурентоспособность, проведение сравнительных характеристик по экономическим, техническим и другими показателями; определение ожидаемых технико-экономических показателей на основе прогнозируемых эксплуатационных свойств, определяют потенциальный экономический эффект при эксплуатации;

- на этапе "Эскизный проект" - оценивают на технологичность, выбор вариантов технических решений, определяют технико-экономические характеристики и себестоимость проектируемого изделия.

Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор №02.G25.31.0076

Литература:

1. Гончаренко, Л.П. Менеджмент инвестиций и инноваций: учебник. – М.: КНОРУС, 2009. – 160с.
2. Шеремет А.Д., Комплексный анализ хозяйственной деятельности: Учебник для вузов - 1-е изд., доп. и испр. - ("Высшее образование") (ГРИФ), М., 2009, ИНФРА-М, 416 с.

3. Горбунов В.Ф., Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горнопроходческой техники на методику расчета его параметров // Вестник КузГТУ/ Кемерово, 2004. – № 6.1, с. 43-45.
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Сапожкова А.В. Разработка требований к основным системам геолода // Горное оборудование и электромеханика/ Москва, 2009– №5. С.3-7.
5. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Синтез технических решений нового класса горнопроходческой техники // Известия вузов. Горный журнал / Екатеринбург, 2009–№ 8. С. 56-63.
6. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю., Бегляков В.Ю. Формирование требований к основным системам геолода // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal). Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования / М.: издательство «Горная книга» – 2009. – ОВ №10. С. 107-118.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*Р.Ю. Некрасов, к.т.н., доц., А.И. Стариков, И.В. Соловьёв
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (3452)-41-24-65
E-mail: syncler@mail.ru; hapsai@rambler.ru; aragorn89_89@mail.ru*

В настоящее время в области обработки изделий машиностроения на станках с ЧПУ достигнут некоторый предельный уровень точности обработки, так минимальная дискретность перемещения исполнительных органов для большинства современных станков, составляет 1 мкм, а некоторые из них способны осуществлять перемещения в величинах менее микрона (<0,0001 мм). Дальнейшее повышение точности обработки на станках с ЧПУ за счёт уменьшения дискретности перемещения исполнительных органов становится невозможным из-за ограничений, накладываемых физикой процесса резания металлов на микронном и субмикронном уровне. Например, на микронном и субмикронном уровне очень сильным становится влияние погрешностей, вызываемых в технологической системе «станок-приспособление-инструмент-заготовка» воздействием: силовых нагрузок, температурных полей и износом режущей части инструмента, приводящих к изменению формы и пространственного положения, как исполнительных органов станка, так и самой заготовки. В подавляющем большинстве случаев разработка управляющих программ для станков с ЧПУ ведётся либо с использованием САПР, либо осуществляется встроенными средствами моделирования, непосредственно на панели управления ЧПУ. Надо заметить, что при этом и САПР и панель управления ЧПУ работают с абстрактной идеализированной математической моделью, обрабатываемой детали и квазижесткой технологической системой, не претерпевающей в процессе обработки резанием деформаций и изменений пространственного положения исполнительных органов. Следовательно, погрешности, возникающие при реализации управляющих программ, созданных с помощью средств САПР или панели управления ЧПУ, на реальной технологической системе, будут унаследованы обрабатываемой деталью.

С целью повышения точности обработки на станках с ЧПУ, предлагается обеспечить оперативный ввод коррекций в управляющую траекторию перемещения исполнительных органов станка, позволяющий компенсировать погрешности, как самой технологической системы, так и погрешности обработки, возникающие в процессе резания. Для того чтобы вплотную подойти к вопросу обеспечения оперативного ввода коррекций, необходимо иметь стройные математические модели определения величин погрешностей, возникающих в технологической системе. Математическая модель, рассматривающая содержание явления, позволяет абстрагироваться от всех несущественных свойств, характеризующих изучаемое явление. В нашем случае в роли изучаемого явления будет выступать процесс диагностики состояния технологической системы, позволяющий определять величины возникающих погрешностей. Таким образом, математическая модель должна описать свойства процесса диагностики из расчета построения математического описания задач диагностики, пригодного для синтеза алгоритмов. Для определения процедур решения задач необходимо найти такие свойства диагностики, которые позволят выразить её программным путем. Группой авторов предложена ме-

тодология математического моделирования процессов диагностики состояния технологической системы на примере токарных станков с ЧПУ.

В ходе исследования на экспериментальной установке (Рис. 1), осуществлялось силовое нагружение исполнительных органов с целью моделирования погрешностей, возникающих в технологической системе из-за воздействия сил резания, приводящих к отклонению расположения поверхностей обрабатываемой детали, развороту револьверной головки и изменению пространственного положения суппорта. Выяснилось, что полученные в ходе исследования отклонения расположения элементов технологической системы, приводящие к формированию погрешностей обработки, коррелируются с действующими силами резания.

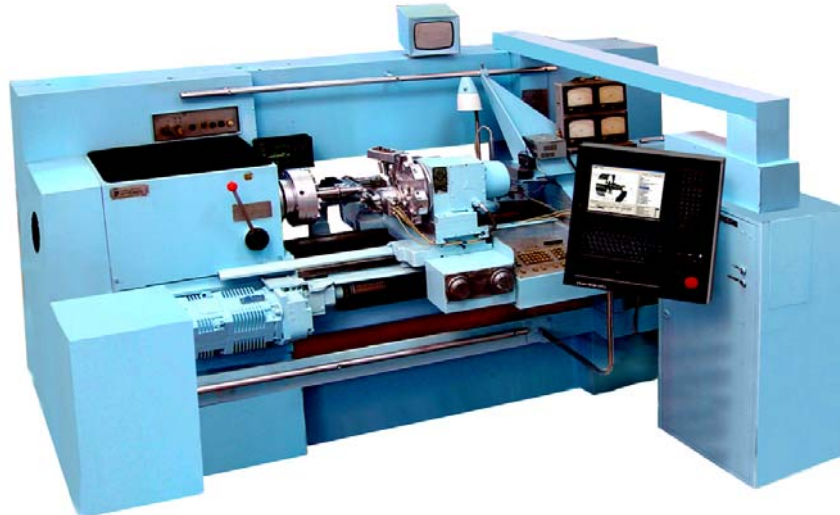


Рис. 1. Экспериментальная установка на базе токарного станка с ЧПУ

По результатам исследования также было отмечено, что процессы диагностики состояния технологической системы и приводов, целесообразно разделять на предварительные и оперативные, что обеспечивает снижение трудоемкости наладки конкретных технологических систем и соответствует требованиям, предъявляемым к реализации гибких технологий обработки.

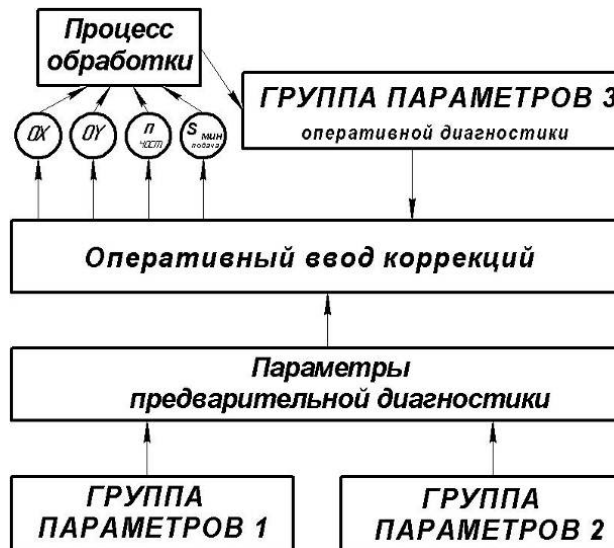


Рис. 2. Взаимосвязь параметров процессов диагностики и управления

На основании проведенных исследований была разработана принципиальная схема диагностики состояния технологической системы (Рис. 2), на которой показана взаимосвязь и влияние от-

дельных параметров на итоговую величину вводимых коррекций. Из данной схемы видно, что выделяется три основные группы параметров:

1) Группа параметров 1, представляет собой параметры предварительной диагностики, служащие для определения величин оперативных коррекций в процессе обработки для всех и всяких деталей и инструмента.

2) Группа параметров 2, представляет собой параметры предварительной диагностики, служащие для определения величин оперативных коррекций в процессе обработки для конкретной детали и инструмента

3) Группа параметров 3, представляет собой параметры текущей оперативной диагностики, служащие для определения величин, их суммирования и ввода оперативных коррекций в процессе обработки по траекториям перемещений инструмента и режимам резания.

Данная обобщенная схема диагностики состояния технологической системы позволяет вплотную подойти к вопросу математического моделирования процессов диагностики. Математическая модель автоматизации процесса диагностики не является адекватной процессу диагностики, выполняемому человеком. Математическая модель содержит черты, присущие машинному процессу, и сохраняет основные черты процесса, выполняемого человеком. В данной статье предлагаются математические модели, и их словесное описание, диагностики состояния технологической системы, написанные с помощью языка математической логики и её раздела логики предикатов.

1) Математическая модель диагностики отклонения поверхностей конструктивных элементов детали под действием силы резания:

$$A \exists \left(C \underset{OZ}{\exists} (\Delta_X^C \wedge E1) \wedge P_X \exists D \right) \in (f : OZ \rightarrow \Delta_X^C; P_X) \Rightarrow G1$$

Читается: на станке A существует деталь C, для которой существуют отклонения вдоль оси OZ Δ_X^C при воздействии силы резания P_X с помощью нагрузочного устройства D, измеряемые с помощью устройства E1, описываемые функцией f с областью значений OZ и областью определения Δ_X^C , записываемые в устройство ЧПУ G.

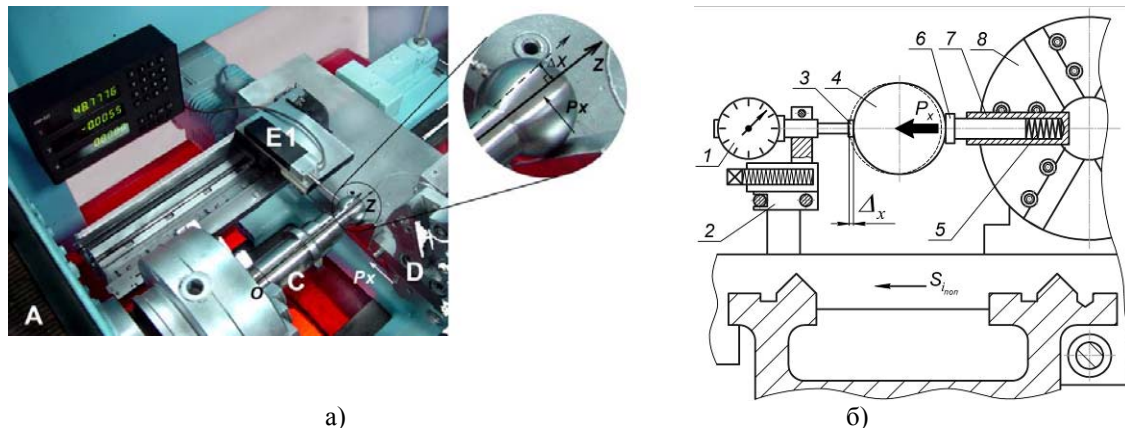


Рис. 3. Измерение отклонения расположения поверхности детали под действием составляющей силы резания P_x :

- 1- индикатор перемещений; 2 - каретка диагностического модуля; 3 - измерительный стержень; 4 - элемент детали; 5 – пружина; 6 - нажимной элемент; 7 – нагрузочное устройство; 8 - инструментальная головка станка

2) Математическая модель диагностики износа режущего инструмента (Рис. 4):

$$A \exists \left(B \underset{\varphi_1 - \varphi_2}{\exists} \Delta_R \wedge E2 \right) \in (f : \varphi \rightarrow \Delta_R) \Rightarrow G1 \exists G$$

Читается: для станка A существует инструмент B, на котором существуют отклонения от исходного контура Δ_R в диапазоне изменения $\varphi_1 - \varphi_2$ с шагом 1° при измерении устройством E2, описываемые функцией f с областью значений φ и областью определения Δ_R , записываемые системой регистрации данных диагностики G1, устройства ЧПУ G.

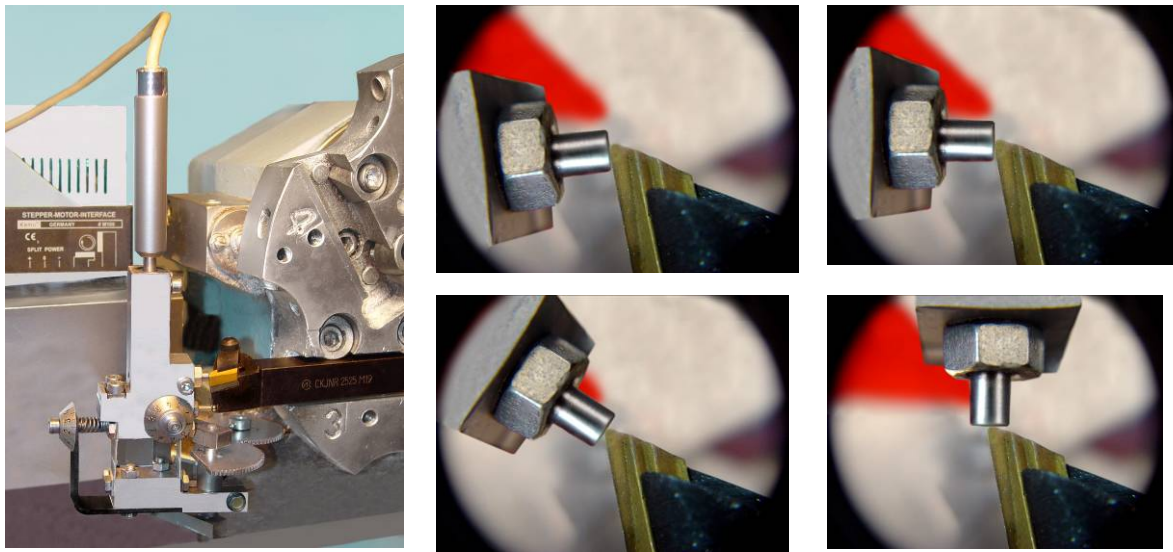


Рис. 4. Устройство диагностики износа инструмента

3) Математическая модель диагностики отжатия револьверной головки по оси Z:

$$A \exists (A3_1 \exists \Delta_Z^{A3_1} \wedge P_Z \exists D) \in (f : P_Z \rightarrow \Delta_Z^{A3_1}) \Rightarrow G$$

Читается: на станке A существует револьверная головка A3₁, для которой существуют отклонения по оси OZ $\Delta_Z^{A3_1}$ при воздействии силы резания P_Z с помощью нагрузочного устройства D, описываемые функцией f с областью значений P_Z и областью определения $\Delta_Z^{A3_1}$, записываемые в устройстве ЧПУ G.

4) Математическая модель определения коэффициента деформации срезаемого слоя

$$A \exists ((B \wedge C) \exists \xi \wedge E4) \Rightarrow f(G1 \wedge O3)$$

Читается: на станке A существует, возникающий при взаимодействии режущего инструмента B и обрабатываемой заготовки C, коэффициент деформации срезаемого слоя ξ , измеряемый устройством E4 и передающийся в систему регистрации данных диагностики G1.

5) Математическая модель определения величины коррекции траектории по данным диагностики

$$A \exists (G3 \wedge O1; O2 \wedge G2)$$

Читается: на станке A существует система управления станком G3 в работу которой вводятся коррекция по данным оперативной диагностики O1 и коррекция по данным предварительной диагностики O2 рассчитываемые системой расчёта коррекций G2.

Предложенные математические модели позволяют решить задачу внедрения способов диагностики и управления технологической системой «станок-приспособление-инструмент-заготовка» с целью повышения точности и качества процессов обработки на станках с ЧПУ. В условиях массового применения предлагаемых технологий, наличие математического аппарата для описания и управления процессами диагностики просто необходимо. Предлагаемые методы диагностики и управления применимы для 80% технологического оборудования отечественного парка станков, а повышения точности при их применении, способно продлевать этапы жизненного цикла станков с ЧПУ в 3 – 4 раза. Адекватность предложенной методологии подтверждается результатами заводских испытаний при диагностике технологического оборудования, оснащённого системами прецизионных лазерных интерферометров.

Литература.

1. Андреев, Г. С . Напряженное состояние режущей части резца при периодическом резании // Прочность режущего инструмента. - М., 1969. - С. 28-37.

2. Бетанели. А. И. К общению метода расчета прочности режущей части инструмента // «Вестник машиностроения». – 1965.- № 2. -С. 16-18.
3. Бобров, В. Ф. Определение напряжений в режущей части металлорежущих инструментов // Высокопроизводительное резание в машиностроении. - М., 1966. - С. 233-228.
4. Гениатулин, А. М. Голографический метод исследования деформированного состояния элементов сборных резцов // Оптико-геометрические методы исследования деформаций и напряжений и их стандартизация. - Горький: НТО Машпром, 1982. - С. 83-84.
5. Гордон, М. Б. Методика и некоторые результаты исследования закономерности распределения сил трения и касательных напряжений на длине контакта стружки с передней поверхностью резца // Вопросы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов. - Иваново, 1965. - С. 41 - 44.
6. Кузнецов В.А., Черепяхин А.А. Технологические процессы в машиностроении учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования - Москва, 2009. Сер. Среднее профессиональное образование. Сварочное производство.
7. Ломова О.С. Математическое моделирование структурных изменений в поверхностях заготовок при тепловых возмущениях в процессе шлифования // Омский научный вестник, №2-120, г. Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГТУ, 2013. – С. 95-98.
8. Петрушин С.И., Бобрович И.М., Корчуганова М.А. Оптимальное проектирование формы режущей части лезвийных инструментов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 91 с.
9. Полетика М. Ф., Утешев М. Х. Исследование процессов резания поляризационно-оптическим методом // «Известия Томского политех. института». -1964. - Т 114. - С. 15.
10. Тахман, С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. № 3. С. 64-72.
11. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
12. Янюшкин, А.С., Сафонов С.О., Лобанов Д.В. и др. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств. - Братск: Изд-во БрГУ, 2006. - 302 с
13. Afonarov A. I., Lasukov A. A., Elementary Chip Formation in Metal Cutting, Russian Engineering Research. 3 (2014), pp. 152–155.

МОНИТОРИНГ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Я.Е. Мещеряков***, аспирант, ассистент, А.М. Корилов****, д.т.н., проф.*

**Кузбасский государственный технический университет
650000, г. Кемерово ул. Весенняя 28, тел 8-(3842)-39-69-60*

***Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634055, г. Томск пр. Ленина 40, тел 8-(3822)-51-00-49*

****Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56*

E-mail: yoruk91@yandex.ru

Для развития угольной индустрии Кузбасса актуальной проблемой является расширение безопасных технологий добычи угля открытым способом. Качество функционирования основных технологических машин, применяемых на угольных разрезах – экскаваторов и буровых станков, определяется точностью позиционирования в пространстве их основных функциональных элементов. Так некорректное позиционирование экскаваторов в забое приводит к увеличению нагрузок на механизмы поворота. Например, превышение угла наклона поворотной платформы экскаватора ЭШ 10/70 к горизонту всего лишь на 2 градуса приводит к повышению вибронагрузки агрегатов на 12-15%. А отклонение платформы бурового станка СБШ-250 от горизонта в процессе его работы более чем на 5 градусов является основной причиной поломки бурового станка.

В настоящее время мониторинг этих параметров выполняется вручную с помощью механических отвесов и не отвечает современным требованиям по точности и надежности. Кроме этого, на

технологических машинах отсутствуют устройства, позволяющие не только выполнять непрерывный мониторинг угловой ориентации функциональных элементов технологических машин, но и регистрировать и анализировать полученную информацию, с целью оценки качества выполнения горных работ за конечный интервал времени – час, смену, неделю, месяц.

Данная функция может успешно осуществляться на основе применения современных микро-электромеханических систем (МЭМС) – гироскопов и акселерометров-инклинометров. Гироскоп регистрирует угловую скорость, по значениям которой после интегрирования рассчитывается угол поворота. Для определения угла наклона объекта можно использовать акселерометр-инклинометр, по показаниям которого определяется момент покоя объекта. Комбинируя данные этих двух МЭМС-датчиков можно вычислить положение функционального элемента технологической машины в пространстве в любой момент времени и в течение любого его промежутка.

Комбинирование (комплексирование) показаний МЭМС-датчиков позволяет устранить их существенные недостатки. Для гироскопа это – дрейф нуля и ошибки интегрирования, а для акселерометра – слишком большая чувствительность к вибрациям и другим внешним силовым воздействиям. Выполнить подобное комплексирование позволяет *комплементарный фильтр*, работа которого описывается достаточно простым выражением:

$$\alpha = (1 - k) \cdot gir + k \cdot acc ,$$

где a – отфильтрованный результирующий угол наклона;

gir и acc – значения угла наклона, полученные при помощи гироскопа и акселерометра, соответственно;

k – коэффициент комплексирования комплементарного фильтра.

Отфильтрованная величина угла наклона представляет собой сумму интегрированного значения показания гироскопа и мгновенного значения показания акселерометра. По сути, главная задача комплементарного фильтра – нивелирование дрейфа гироскопа и ошибки дискретного интегрирования (первая часть формулы за счёт достаточно большого коэффициента убирает низкочастотный шум гироскопа, а очень маленький коэффициент во второй части убирает высокочастотный шум акселерометра). Приведенная математическая модель на каждом шаге интегрирования корректирует процесс интегрирования угла наклона с помощью показаний акселерометра. Значимость же этой коррекции определяется коэффициентом комплексирования фильтра k .

Выбор коэффициента комплексирования k зависит от величины дрейфа нуля гироскопа, от скорости накопления ошибок вычисления и от условий использования машины. Так, слишком большое значение k приведет к тому, что на результат работы фильтра будет сильно влиять вибрация корпуса машины. Слишком же малое значение k может оказаться недостаточным, чтобы ликвидировать дрейф показаний гироскопа. Как правило, коэффициент комплексирования k комплементарного фильтра подбирается опытным путём для каждого инклинометра исходя из вышеуказанных условий. На основе непрерывного мониторинга положения в пространстве функциональных элементов технологических машин возможна автоматическая настройка коэффициента комплексирования k комплементарного фильтра.

Таким образом, система непрерывного мониторинга положения в пространстве функциональных элементов технологических машин, может быть достаточно легко построена при помощи акселерометра, гироскопа и комплементарного фильтра, объединяющего их показания. Применение комплементарного фильтра не требует от контроллера системы большой вычислительной мощности и позволяет добиться достаточно качественных показаний.

Основными функциональными элементами электронного устройства непрерывного мониторинга положения в пространстве основных функциональных элементов горных машин являются: датчик (первичный преобразователь), включающий гироскоп и акселерометр; микроконтроллер; помехоустойчивая линия связи и вычислительное устройство.

Система спроектирована по модульному принципу, где её узлы могут добавляться в зависимости от типа и функционального назначения горной машины. На рисунке 1 представлена функциональная схема базовой комплектации системы, применённой на шагающем экскаваторе.

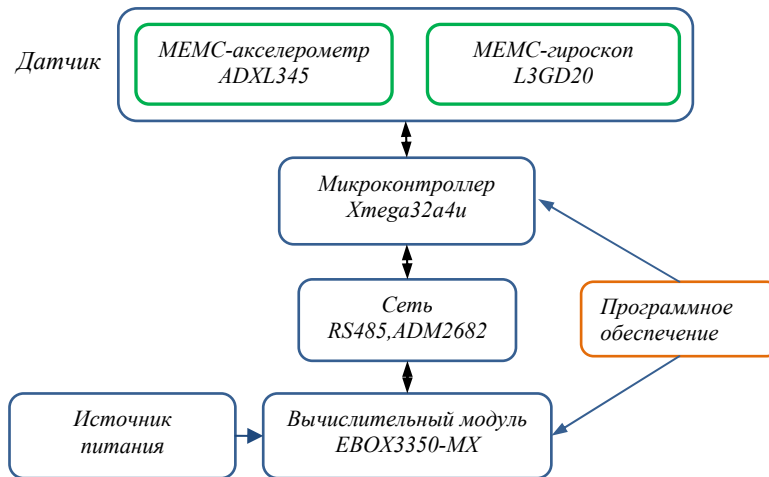


Рис. 1. Функциональная схема комплекса для шагающих экскаваторов

Важнейшим этапом создания комплекса стала разработка программного обеспечения (ПО), как для микроконтроллера (МК) *Xmega32a4u*, так и для вычислительного модуля (одноплатного компьютера *EVOX3350-MX*).

ПО для МК представляет собой новую операционную систему, при разработке которой использовалась идеология конечных автоматов [1].

Автоматное программирование, иначе называемое «программирование от состояний» или «программирование с явным выделением состояний» – это метод разработки ПО, основанный на расширенной модели конечных автоматов и ориентированный на создание широкого класса приложений.

Программное обеспечение одноплатного компьютера, написанное на языке среднего уровня C/C#, задает и управляет логикой работы всей системы. Программа обеспечивает:

- вывод и отображение информации;
- фильтрацию шумов при помощи комплементарного фильтра;
- борьбу с вибрацией;
- минимизацию накопленной ошибки вследствие суточного вращения Земли;
- запись истории событий.

На рисунке 2 представлен интерфейс разработанной программы работы комплекса, предназначенного для мониторинга положения в пространстве платформы шагающего экскаватора.

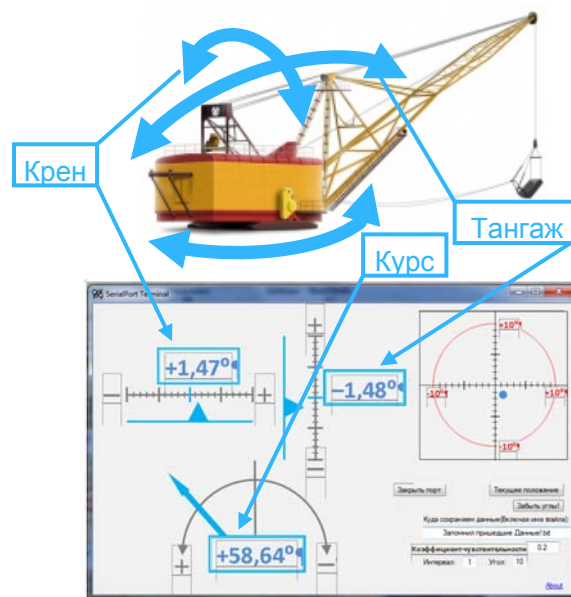


Рис. 2. Интерфейс программы работы комплекса

На экране монитора показаны по шкалам и продублированы величины углов крена ($+1,47^\circ$), тангажа ($-1,48^\circ$) и курса ($+58,64^\circ$). По положению синей метки в красном круге можно оценивать горизонтальность положения платформы в пространстве. На разработанную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [2].

Промышленные испытания комплекса проводились в условиях разреза «Прокопьевский». Комплекс был установлен на горизонтальной площадке 1 кабины машиниста 2 шагающего экскаватора ЭШ-10/70 3 (рисунок 3, а).



Рис. 3. Схема установки а) и общий вид комплекса в кабине машиниста б)

Датчик и микроконтроллер, совмещенный с устройством связи для работы с вычислительным модулем, представлял собой единый функциональный блок, скомпонованный в корпусе размером $95 \times 110 \times 40$ мм с прозрачной крышкой для индикации его работы (рисунок 3, б). Он был установлен и закреплён вдоль продольной оси экскаватора у.

Перед запуском комплекса с помощью профессионального электронного уровня «Ермак 659-034» ($\Delta = \pm 0,05^\circ$) была выполнена его юстировка, которая заключалась в следующем: полученные с помощью электронного уровня два угла $1,3^\circ$ и $1,1^\circ$ по крену (ось y) и тангажу (ось x), соответственно, были введены в программу компьютера в качестве поправок. Время непрерывной работы комплекса составило 24,46 мин. Вся информация об угловом положении блока датчиков вокруг трёх осей x, y и z записывалась в память компьютера. Одновременно с записью информация отображалась с помощью графического интерфейса на мониторе. Результаты испытания показаны на рисунке 4.

Визуальное наблюдение углового положения платформы экскаватора и его отображение на экране монитора показало их полное совпадение. Аппаратно-программный комплекс в течение всего периода работал стабильно. Наблюдался постепенный дрейф показаний датчика поворота платформы вокруг оси z. Завершились испытания поворотом платформы экскаватора на 360° вокруг оси z.

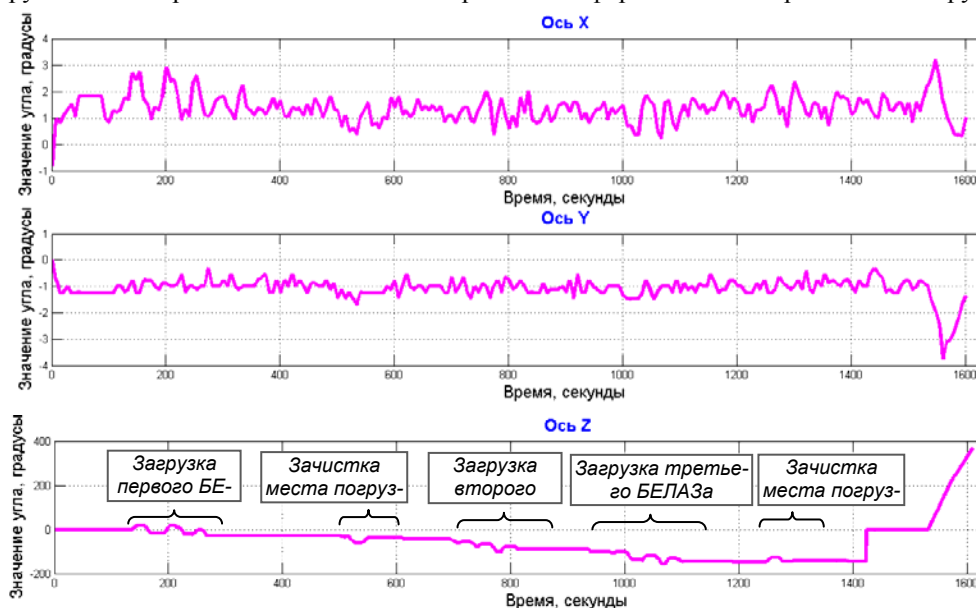


Рис. 4. Результаты испытаний аппаратно-программного комплекса

Таким образом, разработанный в КузГТУ аппаратно-программный комплекс можно применять на шагающих экскаваторах угольных разрезов Кузбасса с целью постоянного мониторинга горизонтальности платформы и автоматизированного учёта рабочих циклов технологической машины за фиксированный промежуток времени. Дальнейшее совершенствование комплекса планируется проводить в направлении ликвидации дрейфа показаний датчика поворота платформы по курсу путём введения корректирующих поправок с использованием показаний датчика Холла, установленного на элементах привода поворотной платформы.

Литература.

1. Мещеряков Я.Е., Операционная система для микроконтроллеров AVR семейства XMEGA // Я.Е. Мещеряков [и др.] Современные техника и технологии: сб. трудов XVIII Международной науч. - практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 2 / Томский политех. ун-т. – Томск: Изд - во Томского политехнического ун-та, 2012. – С. 359-360.
2. «Автоматизированная система наблюдения за положением рабочих элементов горных машин»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ / Я.Е. Мещеряков, П.М. Обо-янский, Н.П. Курьшин, О.В. Любимов. – №2014617216; заявл. 26.05.2014; опубл. 20.08.2014.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков

г. Братск, ул. Макаренко, 40

E-mail: yanyushkin@brstu.ru, mf_nauka@brstu.ru, dielektrik84@mail.ru

Введение

Для современного машиностроительного предприятия характерно увеличение номенклатуры изделий, изготовление которых предполагает не только осуществление технологического процесса, но и его подготовку. Одним из неотъемлемых этапов подготовки механообрабатывающего производства является оснащение его режущим инструментом. При обработке деталей резанием подготовка инструмента включает в себя мероприятия по его конструированию, изготовлению, выбору из множества существующих конструкций наиболее рационального для условий технологического процесса, подбору оптимальных режимов обработки и геометрии инструмента [1 – 9].

Основной задачей инструментального производства является создание или выбор такой конструкции инструмента, которая бы позволила обеспечить высокую производительность обработки, работоспособность инструмента и качество получаемых поверхностей, затрачивая минимальные средства и ресурсы. Проектирование специальных конструкций режущих инструментов зависит от условий обработки, а их создание требует значительных затрат времени, что увеличивает стоимость проектирования. Выбор рационального для заданных условий производства конструктивного решения инструмента из множества вариантов также требует значительных затрат времени у технологов, занимающихся подготовкой инструмента к работе. Это связано с тем, что в настоящее время номенклатура инструмента, предлагаемого производителями, представлена весьма широко и постоянно создаются новые конструкции.

Одним из путей решения этой проблемы является создание автоматизированной системы с возможностью хранения информации о конструкциях режущих инструментов и их выбора для условий производства. На сегодняшний день существует ряд программ и информационных систем, в которых реализована возможность выбора режущего инструмента для операций механической обработки [10 – 14]. Однако при выборе инструмента для технологических процессов в этих программах, в основном, руководствуются качеством обработанной поверхности и не учитывают производительность обработки, работоспособность инструмента и экономическую целесообразность его применения.

В связи с этим, целью исследования является разработка программного обеспечения, позволяющего систематизировать информацию о конструкциях режущих инструментов и проводить их сравнительный анализ для выявления рационального варианта при заданных условиях производства.

Теоретическая основа исследования

Для достижения поставленной цели нами предложены методики моделирования, автоматизированного проектирования, систематизации и оценки конструктивных решений сборного инструмента для реализации технологических процессов обработки резанием.

На основе теории графов создана методика моделирования сборного режущего инструмента (на примере фрез), позволяющая проводить анализ и синтез конструктивных решений в процессе подготовки инструмента [15, 16].

В модели сборная фреза рассматривается как система отдельных конструктивных элементов, имеющих функциональные связи. Укрупнённо конструкция сборных фрез представлена в виде объединения режущей, корпусной, крепёжной и других частей. Более детальное описание конструктивных особенностей инструмента содержится в элементах, имеющих связи с этими частями в соответствии с общепринятой классификацией.

Предложенная графовая структура является обобщённой, описывает варианты конструкций сборного режущего инструмента и позволяет, с одной стороны, разложить на элементы любую его конструкцию для получения более полного представления об устройстве, с другой стороны, построить логическую схему найденного технического решения и оценить его, кроме того, доступно дополнение модели при появлении новых составляющих.

Задавшись определением элементов графа, любую конструкцию инструмента по обобщённой графовой модели можно представить в виде матрицы и, тем самым, определить ее математическое описание в программе.

Для рационального выбора конструктивного решения инструмента при подготовке технологического процесса механической обработки изделий разработана методика сравнительного многофакторного анализа конструкций инструмента при варьируемых условиях сопоставимости инструмента, позволяющая оптимизировать и компьютеризировать процесс выбора инструмента для оговоренных условий его эксплуатации [17 – 19].

Сущность методики сравнительного анализа заключается в том, что рациональная конструкция режущего инструмента определяется в зависимости от варьируемых условий реализации производственного процесса: прогнозируемой работоспособности инструмента, производительности обработки, качества обработанной поверхности и экономичности конструктивных решений. Каждый из этих параметров рассчитывается на основе математических моделей, полученных по результатам обработки экспериментальных данных, и зависит от прочностных характеристик инструментального и обрабатываемого материалов, режимов обработки, геометрических параметров инструмента и экономических составляющих процесса резания.

Автоматизация инструментальной подготовки производства

Для практического применения методики реализованы в созданном программном комплексе, предназначенном для систематизации и рационального выбора конструктивных решений инструмента с учетом варьируемых условий реализации технологического процесса механической обработки (на примере фрезерного инструмента). Комплекс состоит из двух взаимосвязанных модулей.

Первый программный модуль (рис. 1) предназначен для описания конструкции сборного режущего инструмента в диалоговом режиме. Модуль ориентирован на систематизацию имеющейся номенклатуры сборного инструмента, синтез и анализ новых конструктивных решений.

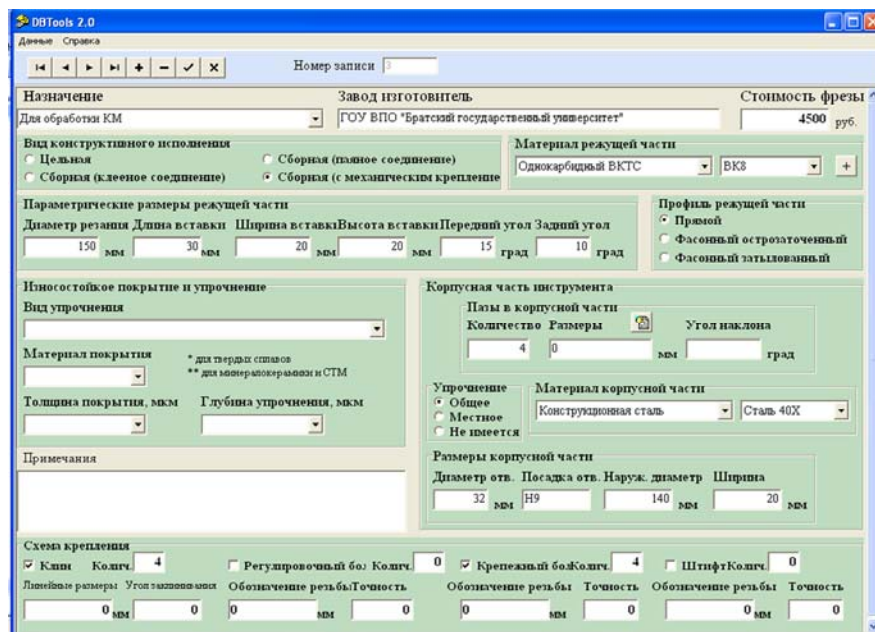


Рис. 1. Диалоговое окно программного модуля для описания конструкции сборного режущего инструмента

Модуль состоит из диалогового окна, в котором располагается основное меню, позволяющее выполнять операции, связанные с определением оптимальной конструкции инструмента, создавать отчеты, содержащие информацию об имеющихся конструкциях, производить поиск информации по параметрам, задаваемым пользователем и выводить его на печать. Для лучшего ориентирования пользователя в программе имеется возможность вывода справки. Ниже располагается навигатор, позволяющий перемещаться по записям, редактировать, добавлять и удалять данные.

Основное поле программы позволяет вносить информацию о материалах режущей и корпусной частей, конструктивному исполнению, профилю режущей части, параметрических размерах режущей и корпусной частей, наличии износостойких покрытий и упрочнения, наличии в схеме крепления штифтов, болтов и клиньев, а также назначении инструмента и т.п.

Ввод данных обеспечивается за счет наличия информации, расположенной в раскрывающихся списках, например, для выбора материала режущей части достаточно указать вид инструментального материала, а затем выбрать его марку. После внесения пользователем информации и попытки ее сохранения, программа проверяет заполнение обязательных полей. При положительном результате проверки данные о конструкции автоматически сохраняются в таблицы, скрытые от пользователя, на основе которых создается информационная база для проведения сравнительного анализа конструктивных решений.

Для поиска оптимальной конструкции необходимо выбрать в меню пункт «Данные», затем «Оптимальные конструкции», после чего откроется доступ ко второму программному модулю, интерфейс которого представлен на рис. 2.

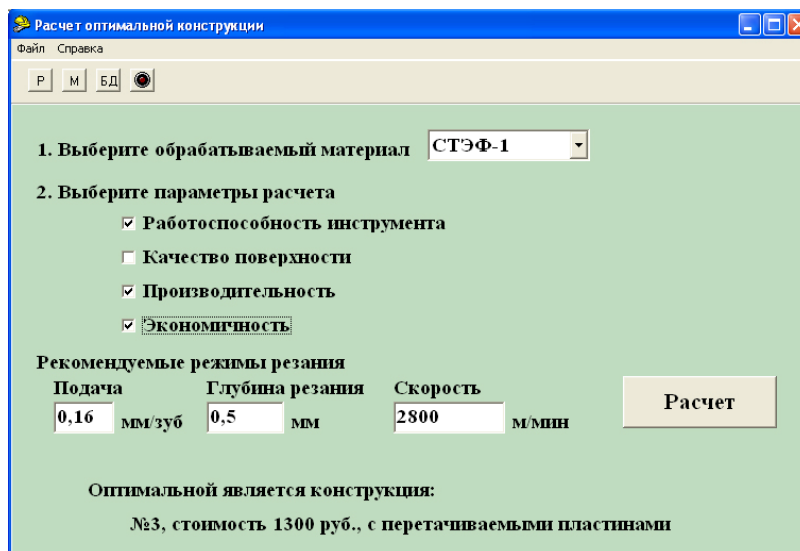


Рис. 2. Диалоговое окно программы для выбора рациональной конструкции режущего инструмента

Во втором программном модуле для выбора рациональной конструкции инструмента при реализации технологического процесса предлагается задать обрабатываемый материал, критерии для расчета и режимы резания. В зависимости от введенной информации производится расчет по методике сравнительного анализа, результат которого выводится в нижней части диалогового окна в виде информации о рациональном варианте конструкции режущего инструмента с описанием его номера в базе данных, стоимости и конструктивного исполнения режущей части.

Кроме того, в модуль может быть дополнительно внесена и ранее накопленная база знаний по процессам лезвийной обработки определенного вида обрабатываемых материалов. Информационную основу расчетов составляет справочная база данных по маркам и свойствам инструментальных и конструкционных материалов, которая имеет возможность редактирования и обновления при появлении новых сведений.

Для оценки экономической эффективности применения программного обеспечения при разработке технологического процесса произведен теоретический расчет в зависимости от трудоемкости проектирования.

Прямой экономический эффект от снижения трудоемкости процесса проектирования и выбора режущего инструмента при применении программного обеспечения можно определить по формуле [20]:

$$\Delta \mathcal{E}_{II} = \sum_{k=1}^n (C_1 M_1 - C_2 M_2),$$

где C_1, C_2 – стоимость обработки единицы информации до и после внедрения разработанного программного обеспечения, руб; M_1, M_2 – объем годовой информации технологической задачи до и после внедрения разработанной САПР ТП; n – число взаимосвязанных задач.

Например, в год число технологических задач, для которых необходимо выбрать режущий инструмент, составляет 3000 единиц. Без применения САПР на выбор оптимальной конструкции инструмента с использованием различных методик тратится в среднем 2 ч (значение вычислено с помощью наблюдения хронометром за выполнением одной задачи по выбору инструмента по методике сравнительного анализа). Применение разработанного программного обеспечения, представленного выше, позволяет снизить это время до 0,3 ч (значение вычислено с помощью наблюдения за выполнением одной задачи по выбору инструмента с помощью программного обеспечения с учетом затрат времени на ввод исходных данных и расчет).

Таким образом, объем годовой информации составит:

$$M_1 = 2 \cdot 3000 = 6000 \text{ ч/год}; M_2 = 0,3 \cdot 3000 = 900 \text{ ч/год};$$

Стоимость обработки единицы информации без применения САПР равна часовой ставке рабочего, которая составляет порядка 200 руб/ч. При применении САПР необходимо также учитывать стоимость программ и их окупаемость. Стоимость программного обеспечения для формирования базы данных и проведения сравнительного анализа составляет порядка 50000 рублей с окупаемостью в один год. Таким образом, стоимость обработки единицы информации увеличится на 167 рублей:

$$C_1 = 200 \text{ руб/ч}; C_2 = 200 + 167 = 367 \text{ руб/ч};$$

Учитывая, что число взаимосвязанных задач равно единице, получим экономический эффект:

$$\Delta \mathcal{E}_{II} = 200 \cdot 6000 - 367 \cdot 900 = 869700 \text{ руб/год}.$$

Выводы

Представленная автоматизированная система позволяет значительно повысить производительность проектирования и оценить различные конструкции режущего инструмента в зависимости от условий производства, снизить себестоимость изготавливаемой продукции. Теоретический расчет экономических составляющих процесса подготовки производства показывает, что время на выбор рациональной конструкции режущего инструмента для заданных условий производства при применении программного обеспечения сокращается на 80...90 % и создает существенный экономический эффект.

Благодарности

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации согласно проекту № 927 «Разработка теоретических основ контактного взаимодействия при обработке новых наноупрочненных материалов».

Литература

1. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, N.P. Petrov, Optimal organization of tools for machining composites, Russian Engineering Research. № 2 (2011) 156 – 157.
2. D.V. Kozhevnikov, V.A. Grechishnikov, S.V. Kirsanov, V.I. Kokarev, A.G. Skhirtladze, Cutting tools, Textbook for Universities, Moscow, Mechanical Engineering, 2005.
3. V.A. Grechishnikov, S.N. Grigoriev, I.A. Korotkov, A.G. Skhirtladze, Design of cutting tools, Textbook, Stary Oskol, Publisher TNT, 2010.
4. A.S. Yuanyushkin, D.A. Rychkov, D.V. Lobanov, Surface quality of the fiberglass composite material after milling, Applied mechanics and materials. Vol. 682 (2014) 183 – 187.
5. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, Analysis of structural precast solutions milling tools for machining composite materials, Engineering Technology. № 5 (2011) 20 – 25.
6. P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, S.I. Petrushin, The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface, Applied mechanics and materials. Vol. 379 (2013) 124 – 130.
7. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, Instrumental support technology products manufacturing composite nonmetallic materials, Monograph, Stary Oskol, Publisher TNT, 2012.

8. V.I. Baranchikov, A.S. Tarapanov, G.A. Charlamov, Processing of special materials in machine building, Handbook, Moscow, Machine building, 2002.
9. A.E. Reiter, B. Brunner, M. Ante, J. Rechberger, Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel, Surface & Coatings Technology. № 200 (2006) 5532 – 5541.
10. A.S. Astafev, Optimization solutions to the major design problems of structural synthesis of individual processes of machining, Dis. Candidate. tehn. Sciences, Chita, 2004.
11. A.V. Belych, Visual method of development of object-oriented databases for computer-aided design, Author dis. Candidate. tehn. Sciences, Rostov-on-Don, 2010.
12. L.S. Globa, Computer-aided design processes milling machining, Dis. Candidate. tehn. Sciences, Kiev, 1984.
13. V.V. Ivanov, Program complex T-FLEX Technology 10, CAD and Graphics. № 9 (2006) 44 – 47.
14. E.M. Kamenev, The automation system design and technological preparation of production ADEM-VX, CAD and Graphics. № 12 (2007) 14 – 19.
15. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, Automation of organizational preparation tool for processing of composite materials, Automation and modern technologies. № 3 (2013) 3 – 9.
16. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, Preparation of cutting tools for machining of composite materials, Monograph, Bratsk, Publisher BrSU, 2011.
17. A.S. Yuanyushkin, D.V. Lobanov, D.A. Rychkov, Comparative analysis of designs milling tool for processing of composite materials, System. Methods. Technology. № 3 (2009) 83 – 85.
18. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, Optimization of selection of the cutting tool on the basis of methods of comparative analysis, Fundamental and applied problems of engineering and technology. № 5-2 (2010) 23 – 31.
19. A.S. Yuanyushkin, D.V. Lobanov, D.A. Rychkov, Automation of technological preparation of production at selection of cutting tools, World of engineering and technology. № 6 (2013) 36 – 38.
20. N.M. Kapustin, P.M. Kuznetsov, N.P. Dyakonova, Integrated automation in mechanical engineering, Textbook for Universities, Moscow, Academy, 2005.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ МОМЕНТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

К.Т. Саттарова, В.В. Кокарева, Н.Д. Проничев

СГАУ, г. Самара, тел.: 8 (846) 3351826,

E-mail: ks.mycity@gmail.com

Аудит рабочего места методом моментных наблюдений заключается в проведении в случайно выбранные моменты времени непродолжительных и нерегулярных наблюдений и установлении на основании полученной информации удельного веса и абсолютных значений затрат и потерь рабочего времени. [1-2] Обследование проводилось в механическом цехе ОАО «КУЗНЕЦОВ», который работает в условиях частых переналадок, смены типа обрабатываемых деталей, и т.д, и как показывают предварительные исследования, в нем существуют проблемы организации производственной деятельности, что в свою очередь, приводит к возникновению простоев. Моментные наблюдения проводились в течение одного месяца. Данный метод характеризуется низкой трудоемкостью проведения наблюдений и обработки материалов, отсутствием ущерба качества исследования, неинформированием работников о проведении исследования. [3]

Для осуществления обходов было выбрано четыре технологически подобных станка: MIKRON UCP 800 DURO, MIKRON UCP 800 DURO, HERMLE C42 U, and CHIRON FZ 12, на которых может обрабатываться деталь «Цапфа».

По полученным данным был произведен расчёт процента времени простоев, средней продолжительности простоя (времени обслуживания) за день и месяц, и определение расчётного количества вызовов (остановок). Все эти расчёты делались в разрезе первопричин и в конечном итоге были сведены в разрезе основных функций обслуживания рабочих мест: Служба обеспечения инструментом, Служба контроля, Служба обеспечения рабочими, Прочее, Наладка, Внедрение новой детали, Про-

блема с заготовкой. Для облегчения анализа таблица, указанная выше, была упрощена путем сведения причин простоев под основные функции. На рис. 1 и 2 приведены данные обследования.

Шифр причин	Количество наблюдаемых простоев	Расчетный процент простоев	Время простоев, мин.	Расшифровка
1	2	4	6	7
13-а	8	6,61	340	Неукомплектованность участка рабочей силой
13-б	24	19,83	2130	Невыход на работу рабочего
15-а	13	10,74	630	Идет освоение программы
15-б	17	14,05	855	Деталь в ЦИЛ (контроль детали)
15-г	2	1,65	90	Поломка детали
16-б	5	0,83	180	Ошибка в технологической документации
6-1	1	0,83	50	Неточность предыдущей наладки, переналадка
8-а	8	6,61	360	Отсутствие инструмента
8-б	4	3,31	180	Некачественный инструмент
9-10	9	10,74	240	Отсутствие заготовки в результате некачественной заготовки
ИТОГО:	91	х	5055	х

Рис. 1. Сводная таблица для обработки данных наблюдений за один месяц

Причина простоя	Количество наблюдаемых простоев	Расчетный процент простоев	Время простоев, мин.
Служба обеспечения инструментом	12	14,05	780
Служба контроля	22	18,18	1025
Служба обеспечения рабочими	32	26,45	2470
Наладка	1	13,22	830
Внедрение новой детали	13	10,74	630
Проблема с заготовкой	11	14,88	700

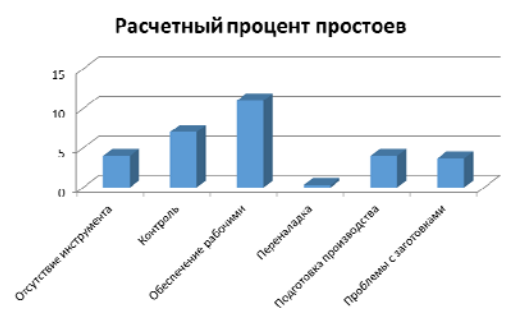


Рис. 2. Количество простоев по основным причинам

Стоит отметить, что самый большой процент простоев приходится на службу контроля (деталь в ЦИЛ (контроль детали), партия завершила обработку, контроль), службу обеспечения рабочими (не укомплектованность участка рабочей силой, невыход на работу рабочего) и проблема с заготовкой (отсутствие заготовки в результате некачественной заготовки, отсутствие межцехового задела).

После определения количества простоев и стоимости машинного времени оборудования для каждого анализируемого станка было выявлено, в результате простоев цех теряет крупную сумму денег. Результаты приведены на рис.3. Часто простои оборудования связаны с наладкой операций, при этом выявлены следующие причины: недостаточная квалификация наладчиков; несоответствие конструкции технологической оснастки принципам групповой обработки; срыв графика изготовления оснастки по вине диспетчерской службы и инструментального цеха.

Наименование оборудования	Станко-час, руб.	Количество простоев за время наблюдения, час.	Потеря денежных средств за время наблюдения, руб.
MIKRON UCP 800 DURO	3877,80	18,85	73096,55582
MIKRON UCP 800 DURO	3877,80	14,5	56228,11986
HERMLE C42 U	2785,69	41,9	116720,5866
CHIRON FZ 12	2565,25	36,5	93631,54167
ИТОГО:			339 676,80

Рис. 3. Потеря денежных средств за время моментных наблюдений

Для решения данных проблем могут быть предложены такие мероприятия, как: обеспечения участка необходимой рабочей силой, а именно IT-специалисты, наладчики, рассмотрение варианта внедрения многостаночного обслуживания; усовершенствование технологий изготовления деталей для снижения брака; сокращение времени на наладку операций и отработку программ с ЧПУ; повышение оперативности управления в заготовительном производстве; улучшение оперативного планирования и управления.

По этим направлениям рекомендуется провести системное обследование организации производства, труда и управления для выработки конкретных рекомендаций.

Большое количество сигналов об остановках (вызовах) настоятельно выдвигает задачу автоматизации и механизации оперативного реагирования и учета простоев, при этом потребуются большой штат диспетчеров, чтобы оперативно реагировать на них. Рекомендуется: выделять эти ситуации и разработать процедуры управления ими; основной упор сделать не на оперативное реагирование на возникающие вопросы, а на их статистический анализ и предупреждение на основе их автоматического учета. [4-6]

Литература.

1. А. А. Коротыгин. Создание информационной модели виртуального предприятия на основе использования современных рпm-технологий // Самара: СГАУ, 2009.- С. 1-20.
2. В. В. Трофимов. Информационные системы и технологии в экономике и управлении// М: Высшее образование, 2006.- С. 94-212.
3. Ю.Н. Проничев. Повышение эффективности обслуживания технологических комплексов в авиадвигательном производстве// Ю.Н. Проничев.- Самара: СГАУ, 2012.- С. 3-45.
4. Н.Д. Проничев, В.Г. Смелов, В.В. Кокарева, А.Н. Малыхин. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха// Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 15, №6(4), 2013. – С. 937 – 943.
5. L. L. Sammet and J. B. Hassler. Use of the Ratio-Delay Method in Processing Plant Operations. Agricultural Economics Research Vol. 03, Number 4, 1951. pp. 124-134
6. Benita M. Beamon. Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods. International Journal of Production Economics (1998) Vol. 55, No. 3, pp. 281-294

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ УСТАНОВКА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

И.В. Дрелих, студент

Научный руководитель: Ибрагимов Е.А.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Всех, наверное, интересует вопрос, как создают золотое, серебряное или иное металлическое покрытие на металлических поверхностях. Например, на кольцах, часах, ложках, предметах быта и на деталях различного оборудования. Существует множество способов нанесения металла на поверхности. Например:

- а. электродуговая металлизация
- б. химическое осаждение
- в. осаждение из газообразного металлического соединения
- г. электролитическое осаждение
- д. погружение в расплавленный металл
- е. вжигание
- ж. катодное распыление
- з. «взрывающаяся» проволока
- и. ионно - плазменное напыление

Электродуговая металлизация.

Наплавку металла при помощи дуговой сварки применяют для восстановления изношенных деталей. Для этого на поверхность изделия наносят металл, накладывая его слоями, обладающими необходимыми физико-механическими свойствами. Для этого применяют различные виды сварки, в том числе и ручную дуговую с плавящимся или неплавящимся электродом.

Химическое осаждение.

В физике, технике и астрономии чаще всего применяется химическое серебрение стекла. Оно достигается восстановлением серебра из щелочных, преимущественно аммиачных растворов азотно-кислого серебра S действием восстанавливающего раствора R; при этом серебро в общем случае выпадает в виде чёрного порошка, и главная задача здесь состоит в том, чтобы путём соответствующего выбора условий реакции получить плотный блестящий слой металлического серебра.

Осаждение из газообразного металлического соединения.

Для полноты изложения следует упомянуть о возможности получать металлические слои, как тонкие, так и толстые, при разложении карбонильных или галогенидных соединений соответствующих металлов; этим процессом чаще пользуются в технике, чем в лабораториях. Таким приёмом можно получать слои никеля, железа, а также платины и металлов платиновой группы.

Электролитическое осаждение.

Метод электролитического осаждения находит мало применения в лабораторной практике. Часто необходимо некоторое время выдерживать электролитические ванны и производить предварительную обработку деталей; поэтому лучше в таких случаях пользоваться освоенными методами, которые широко применяются в соответствующей промышленности на больших установках. В этой области все сильнее распространяется автоматизация.

Погружение в расплавленный металл.

Металлические слои можно наносить, окуная деталь в расплавленный металл, слой которого наносится, или в соответствующие другие жидкости.

Вжигание.

Слои, весьма прочно держащиеся на стекле, получают способом вжигания, при котором раствор соли соответствующего металла разлагается при нагревании и выделяющийся металл вжигается в стекло. Такие слои применяют, например, для того, чтобы стеклу сообщить электрическую проводимость, или для того, чтобы припаять к нему металл.

Катодное распыление.

Этот старый метод, особенно пригодный для получения полупрозрачных слоев, может и в настоящее время иногда весьма успешно конкурировать с методами, описанными выше. Так, например, платина распыляется очень легко, в то время как испарение этого металла далеко не просто. Выбор металлов здесь также весьма разнообразен. Гельберт, например, описывает процесс катодного распыления для: Sb (сурьма); Bi (висмут); Cd (кадмий); Au (золото); Pb (свинец); Pt (платина); Ag (серебро); Sn (олово); Zn (цинк); Co (кобальт); Cu (медь); Ir (иридий); Fe (железо); Ni (никель); Se (селен); Te (теллур); Mo (молибден); Ta (тантал); W (вольфрам); Al (алюминий); Be (бериллий); C (углерод); Cr (хром); Mg (магний) и Si (кремний). Первая группа металлов поддается распылению более легко; вторая и третья группы — труднее.

«Взрывающаяся» проволока.

Тонкая натянутая проволока в разреженном пространстве, при давлении 25—50 мм рт. ст., и при очень сильной электрической нагрузке испаряется со взрывом. При этом металл осаждается в виде тонкого слоя на более холодную подложку, помещенную вблизи. Короткая вспышка света высокой интенсивности, сопровождающая это явление, позволяет пользоваться им как источником мгновенного освещения при фотографировании быстрых процессов.

Ионно - плазменное напыление.

Суть ионно – плазменного напыления заключается в бомбардировке поверхности твердого тела отдельными атомами, ионами или молекулами, имеющими энергию, большую энергии связи атома тела, материал мишени распыляется. Если поблизости от нее поместить подложку, то часть атомов распыляемой мишени попадет на подложку и конденсируется (напыляется), образуя пленку. Этот способ нанесения металла на поверхность более точно передает свойства и состав напыляемого металла. О нем мы и поговорим.

Ионно-плазменное напыление

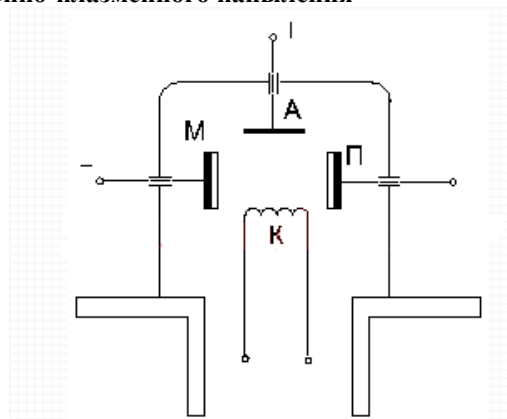
Для бомбардировки мишени удобно использовать заряженные частицы — ионы, так как их легко разогнать до нужной энергии в электрическом поле. Иногда для напыления применяют специальные источники ионных пучков, в которых ионы отсортированы по массам и имеют одну и ту же энергию. Но чаще в качестве источников ионов используют газоразрядную плазму, из которой положительные ионы вытягиваются отрицательно заряженной мишенью. Такой способ распыления называют ионно-плазменным напылением.

Установка ионно-плазменного напыления

Энергия ионов, падающих на мишень, определяется в основном разностью потенциалов, пройденной ионом на последней длине свободного пробега перед мишенью, так как ранее приобретённую энергию он практически полностью теряет в столкновении с атомами газа. Из-за статического характера процессов соударения частиц всегда существует большой разброс длин свободного пробега, так что энергия ионов падающих на мишень, имеет существенный разброс и ионы падают на мишень под разными углами и т. д. Поэтому процесс ионно-плазменного напыления, в котором эффекты собственно ионного напыления и явления в газовом разряде тесно переплетены, исследовать труднее, чем процесс ионного напыления.

В напылительной камере создают продольное магнитное поле, параллельное электрическому полю между катодом и анодом. Это поле закручивает траектории электронов, летящих по направлению к стенкам, и тем самым предотвращает накопление на них отрицательного заряда и дрейф к стенкам положительных ионов.

Схема установки ионно-плазменного напыления



А — анод; К- катод; М — мишень; П — подложка

Количество ионов, образующихся в камере, зависит от тока электронов с катода, давления газа в камере и напряжения на аноде. В напылительной установке, схема которой приведена на рисунке, источником электродов является накаливаемый катод К. При давлении газа в камере выше 10-1 Па средняя длина свободного пробега электрона меньше 1 см. Поэтому если расстояние до анода значительно больше этой длины, то на своем пути до анода электрон успеет испытать большое число столкновений с атомами газа. Для того чтобы эти соударения приводили к ионизациям, электрон должен приобрести в электрическом поле достаточно большую энергию. С ростом энергии электрона вероятность ионизации атома при столкновении с электроном сначала растет, а затем начинает уменьшаться.

Образующиеся положительные ионы устремляются на мишень, находящуюся под большим отрицательным потенциалом. Как уже упоминалось, ионы легко теряют свою кинетическую энергию при соударении с атомами газа, так как массы сталкивающихся частиц практически равны. Поэтому они достигают мишени с энергией, приобретённой ими в электрическом поле на последней длине свободного пробега l перед нею, т. е. с энергией $l \cdot E$, где E — напряжённость поля у мишени. Эта энергия может быть существенно ниже $q \cdot V$, где V — напряжение на мишени.

Бомбардируя мишень, ионы выбивают из неё атомы, часть из которых попадает на подложку и, конденсируясь (напыляясь), образует плёнку — происходит ионно-плазменное напыление.

Плюсы ионно-плазменного напыления заключаются в более точной передаче свойств и состава напыляемого металла. Минусы в том что объём обрабатываемой детали зависит от размера камеры в которой происходит напыление.

Литература.

1. http://www.coolreferat.com/Химические_способы_нанесения_металлических_покрытий
2. <http://www.shtorm-its.ru/tehnologiya-dugovoy-naplavki-metallov>
3. <http://masterweld.ru/naplavka>
4. <http://www.mtomd.info/archives/2228>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ АВТОНОМНЫХ БЛОКОВ В ИЗДЕЛИЯХ, ЗАЛИТЫХ КОМПАУНДАМИ

Д.В. Артамонов, д.т.н., проф., А.Н. Литвинов, д.т.н., проф.

Пензенский государственный университет

440026, Пенза, ул. Красная, 40, тел.(841-2) 56-51-22

E-mail: dmitrartamon@jandex.ru

Блоки радиоэлектронных систем широко применяются в изделиях различного назначения и, как правило, конструктивно представляют собой гетерогенные структуры, состоящие из разнородных материалов. К таким структурам в частности относятся электронные блоки и автодины, которые в эксплуатационном режиме подвергаются виброударным воздействиям в широком амплитудно-частотном диапазоне [1].

Элементная база таких структур является весьма чувствительной к виброударным воздействиям, особенно к ударам малой длительности при больших амплитудах ударного ускорения. Для повышения виброударостойкости и обеспечения требуемых тактико-технических характеристик (ТТХ) изделий электронные блоки или изделия в целом часто заливают композитами. В этом случае изделие представляет собой сложную гетерогенную структуру, что делает невозможным практическое применение известных моделей для математического моделирования динамических процессов в этих структурах [2].

Для моделирования динамических процессов в гетерогенной структуре изделия используется проблемно-ориентированный пакет моделирующих программ, разработанный на основе метода автономных блоков с использованием декомпозиционного подхода [1]. Математическая модель изделия строится как объединение автономных блоков между собой. Функциональная схема пакета показана на рис. 1

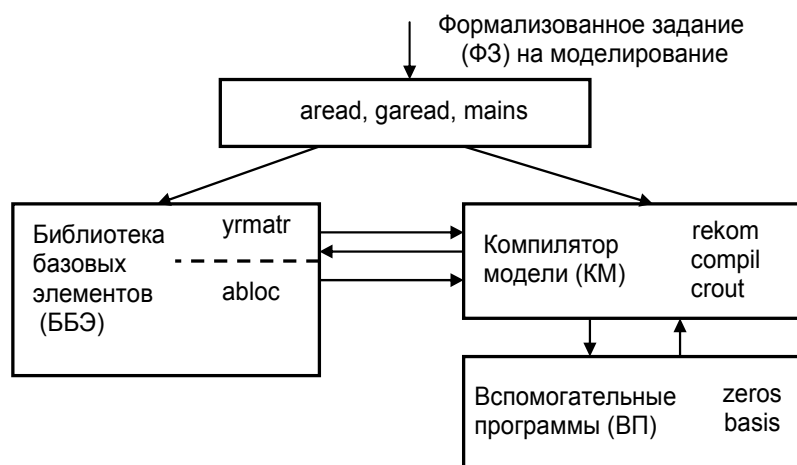


Рис. 1. Структура пакета моделирующих программ

Пакет состоит из формализованного задания на моделирование (ФЗ), компилятора модели (КМ), библиотеки базовых элементов (ББЭ) и вспомогательных программ (ВП). Программы aread, garead, mains формируют из формализованного задания на моделирование информацию для управления работой компилятора модели и библиотеки базовых элементов. Программа reком осуществляет переход от одной декомпозиционной схемы к другой, программа compil осуществляет рекомпозицию базовых элементов (автономных блоков), программа crouit осуществляет решение системы алгебраических уравнений. Библиотека базовых элементов состоит из двух разделов: yrmatr – для временного хранения базовых элементов и abloc – для постоянного хранения базовых элементов. Программа zeros предназначена для определения собственных волн волновых каналов, программа basis осуществляет преобразование матриц рассеяния и проводимости автономных блоков, записанных в базе одних собственных волн волновых каналов в другие. Матрица импеданса автономного блока в виде прямоугольного параллелепипеда с однородным упругим заполнением включена в библиотеку базовых элементов как базовый элемент. Вывод на печать выполняется в виде графиков в заданной сис-

теме координат. Разработанная математическая модель и пакет программ применен для исследования динамических процессов в неоднородных структурах различных объектов.

В качестве примера на рис.2 схематично показана конструкция электронного блока, который установлен в стальном основании корпуса изделия. Для обеспечения жесткости между блоком и источником питания, закрепленном в корпусе, установлена стальная шайба. Весь блок заливается композитом Виксит ПК-68.

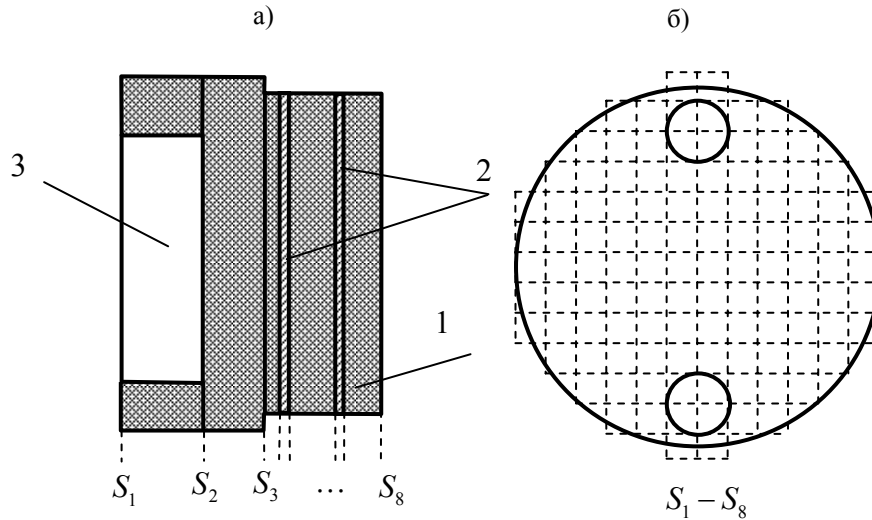


Рис. 2. Залитый блок: 1 – заливка, 2 – стеклотекстолитовая плата, 3 – шайба

Декомпозиция исследуемой конструкции на автономные блоки в виде прямоугольных параллелепипедов с последующей рекомпозицией является двухуровневой. На первом этапе область блока по длине разбиваются условными сечениями S_1, S_2, \dots (рис. 2а) на цилиндрические области, на втором этапе цилиндрические области разбиваются на автономные блоки в виде прямоугольных параллелепипедов (рис. 2б). При рекомпозиции на первом этапе объединяются дескрипторы автономных блоков цилиндрических областей, на втором этапе дескрипторы цилиндрических областей.

При действии удара в направлении продольной волновой процесс в гетерогенной структуре блока описывается уравнением

$$c_\tau^2 \Delta \vec{u} + \omega^2 \vec{u} + (c_l^2 - c_\tau^2) \text{grad div} \vec{u} = 0, \quad (1)$$

где ω – частота; \vec{u} – вектор перемещения частиц; c_l, c_τ – фазовые скорости распространения продольной и поперечной волн соответственно. На поверхностях граней волновой процесс удовлетворяет условиям неасимптотического излучения (поле на гранях представляется рядами Фурье).

Скорости распространения продольных и поперечных упругих волн определяются как $c_l = \sqrt{E/\rho}$, $c_\tau = \sqrt{G/\rho}$, где E – модуль Юнга, G – модуль сдвига, ρ – плотность соответствующего материала. Затухание упругих волн учитывается путем введения комплексных модулей Юнга (для продольных волн) и сдвига (для поперечных волн):

$$\dot{E} = E \left(1 + i \frac{2\alpha_l c_l}{\omega} \right), \quad \dot{G} = G \left(1 + i \frac{2\alpha_\tau c_\tau}{\omega} \right). \quad (2)$$

Здесь α_l, α_τ – коэффициенты поглощения продольных и сдвиговых упругих волн, в соответствующем слое материала, $\omega = 2\pi f$, частота f в Гц.

Сходимость численного метода автономных блоков проверялась на тестовых задачах. Для рассматриваемого блока установлено, что при использовании количества автономных блоков 25x25 погрешность вычисления собственных частот не превышает 0,13%.

Графики действующих на изделие эксплуатационных ударных ускорений g для различной длительности Δt приведены на рис.3 и соответствуют эксплуатационным режимам реального изде-

лия, в котором установлен электронный блок. В соответствии с ТТХ изделия расчет выполнен на действие продольного ударного импульса с пиковым одиночным ударным ускорением $g = 2 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$.

В табл.1 приведены параметры технологических заливочных материалов, которые могут использоваться в конструкции блока.

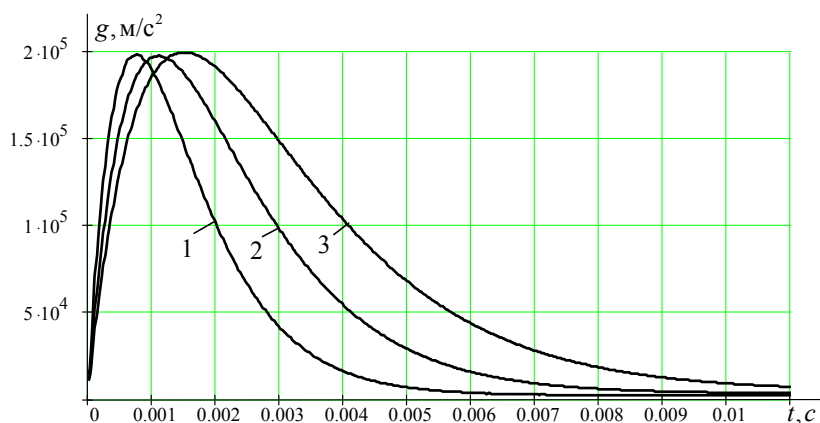


Рис. 3. Ударное ускорение: 1 – $\Delta\tau = 2\text{мс}$; 2 – $\Delta\tau = 3\text{мс}$; 3 – $\Delta\tau = 4\text{мс}$

Таблица 1

Характеристики материалов

Блок	Материал	Плотность, ρ , кг/м ³	Модуль Юнга, E , МПа	Модуль сдвига, G , МПа
Электронный блок	Стеклотекстолит	1700	350	175
Заливка	Виксинт ПК-68	1100	14	7
	Полиуретан	1260	40	20
	Композит на основе углеродных нанотрубок	1200	125	60

На рис. 4 приведены результаты математического моделирования динамического процесса: кривые спектральной плотности $S(f)$ зависимостей ударного ускорения от времени в логарифмическом масштабе и дискретный спектр собственных частот упругих колебаний электронного блока, полученных методом автономных блоков. Моделирование динамических процессов выполнено для основного типа заливки – Виксинт ПК-68, а также для других вариантов заливки с использованием материала полиуретан и нового композиционного материала на основе углеродных нанотрубок (см. табл. 1) при различных длительностях воздействия ударного ускорения. Здесь $S(0)$ – максимальное значение спектральной плотности ударного ускорения.

Результаты численных исследований показали, что при увеличении жесткости заливочного материала количество собственных частот продольных колебаний в заданном частотном диапазоне внешних возмущений уменьшается. Так при использовании в качестве заливочного материала композита на основе углеродных нанотрубок в электронном блоке изделия в диапазоне до 10 кГц отсутствуют собственные частоты, так как основная собственная частота продольных колебаний $f_0 > 10$ кГц.

Так как вывод собственных частот из эксплуатационного частотного диапазона способствует повышению виброудароустойчивости электронного блока и, как следствие, надежности изделия в целом, то применение в качестве заливочного материала композита на основе углеродных нанотрубок представляется весьма перспективным. Добавление углеродных нанотрубок к полимерам, например к полиуретану, существенно повышает их модуль упругости, а коэффициент поглощения материала заливки остается практически без изменения.

Разработанный метод и программное обеспечение позволяют на этапе проектирования изделий или отдельных блоков, содержащих гетерогенные структуры, выполнять математическое моделирование динамических процессов и научно обоснованно принимать конструкторско-

технологические решения по обеспечению требуемой вибро- и удароустойчивости изделий при заданных режимах эксплуатации.

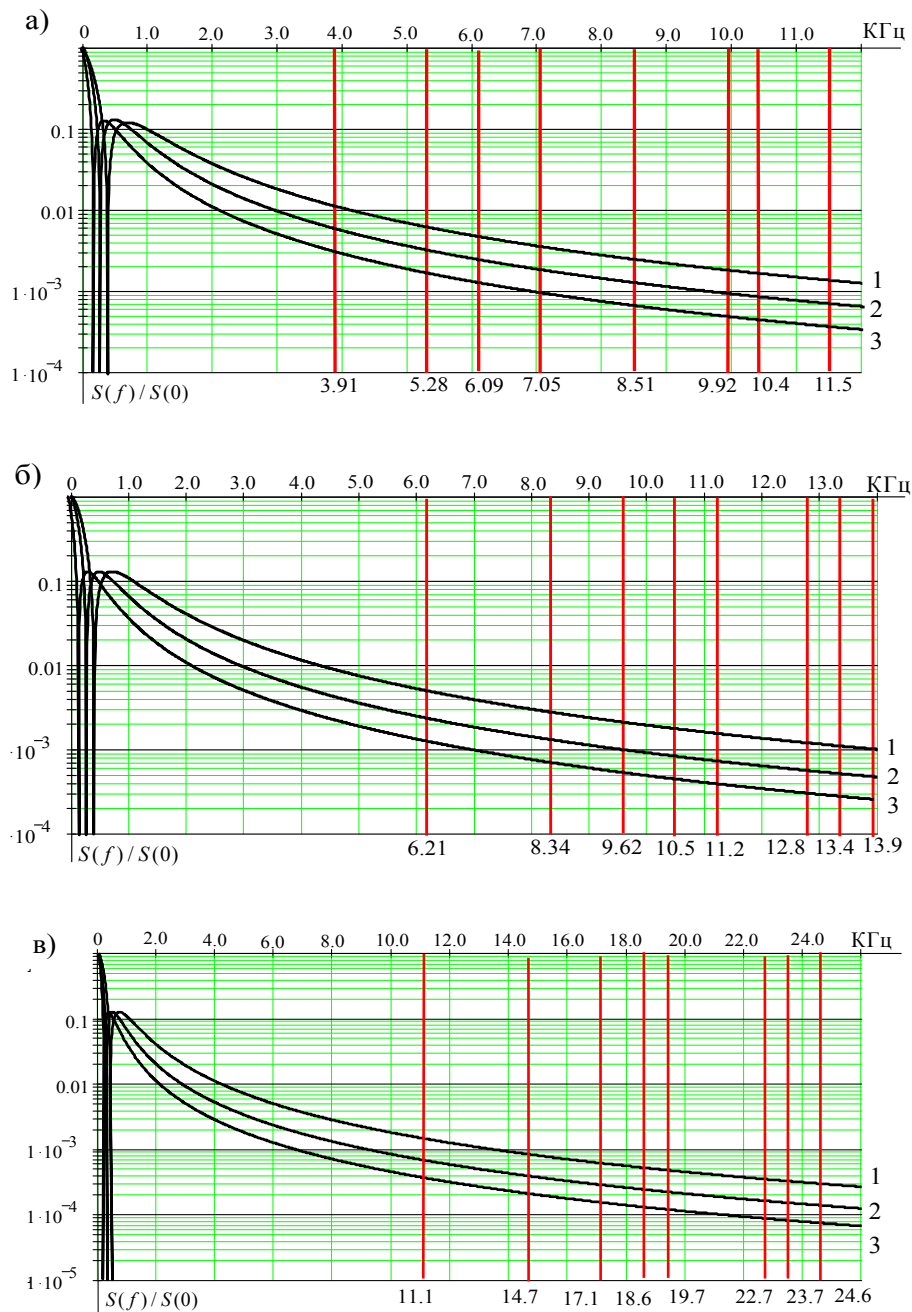


Рис. 4. Спектральная плотность кривых ударного ускорения и спектр собственных частот упругих колебаний блока: а – заливка «Виксинт ПК-68»; б – заливка «Полиуретан»; в – заливка «Композит»; 1 – $\Delta\tau = 2$ мс, 2 – $\Delta\tau = 3$ мс, 3 – $\Delta\tau = 4$ мс

Литература.

1. Артамонов, Д.В. Моделирование процессов в слоистых структурах изделий: монография/ Д.В. Артамонов, В.И. Волчихин, А.Н. Литвинов. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 258с.
2. Литвинов, А.Н. Моделирование динамических процессов в изделиях приборостроения: монография./ А.Н.Литвинов – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – 196с.

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ МИКРОТОМОГРАФОВ

*Н.Ю. Изоткина, к.э.н., доцент, Ю.М. Осипов****, д.т.н., д.э.н., профессор,*

*В.И. Сырякин**, д.т.н., профессор, В.А. Трифонов***, к.э.н., доцент*

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

**Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники(ТУСУР)*

***Национальный исследовательский Томский государственный университет (НИ ТГУ)*

**** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел./факс:8 (384-51) 6-26-83

E-mail:cek4@mail.ru, umol943@yandex.ru,

general@tic.tsu.ru, v.trifonov@rambler.ru

Введение. Для коммерциализации в формировании рынка новшеств СП РМТ должны принимать активное участие разработчики и производители этого товара, так как СП РМТ имеет ряд существенных особенностей. Рынок новшеств не может нормально функционировать без признания права на объекты интеллектуальной (промышленной) собственности, которые сегодня широко реализуются в экономическом обороте и рассматриваются как товар особого рода, имеющий разные виды, который можно отчуждать в товарно-денежной форме. Участники экономического оборота должны считаться с особыми качествами объектов интеллектуальной (промышленной) собственности: надлежащей легитимизацией объекта (наличие исключительного права на продукты, вовлекаемые в экономический оборот), формой передачи, объективным наличием интеллектуального продукта в хозяйстве соответствующего субъекта рынка. Поступающая в экономический оборот интеллектуальная, в первую очередь, промышленная собственность и производные права на нее, полученные по договору, должны подчиняться общим правилам хозяйствования. Рынок новшеств включает помимо продуктов промышленной собственности (права на изобретения, полезные модели, ноу-хау, товарные знаки и др.) массу информационных продуктов, которые не патентуются и не защищаются авторским правом. Эти результаты интеллектуальной деятельности могут быть тесно связаны с объектами интеллектуальной (промышленной) собственности. Тем самым возникают комплексы взаимосвязанных новшеств, представляющие для предпринимателя большую (синергетическую) ценность, чем сумма арифметических ценностей, вошедших в комплекс.

В статье «Коммерциализация систем позиционирования рентгеновских микротомографов», подготовленной в ходе выполнения проекта «Высокоточная электромехатронная система позиционирования исследуемого образца для рентгеновского микротомографа» по государственному контракту №16.523.11.3009, предлагается технология коммерциализации СП РМТ на организованном разработчиками рынке новшеств данного ИТ, включающая разработанные авторами.

1. Перечень видов и оценки ИТразного уровня новизны, пользующиеся платежеспособным спросом[1] (см. табл.1).

Таблица 1

Результаты научно-технической деятельности, пользующиеся
платежеспособным спросом рынка новшеств

Наименование интеллектуального товара	Примечание	
1. Объекты промышленной собственности (ОПС)	В случае наличия патента появляется возможность выйти на рынок для коммерциализации конкурентоспособного товара	
		1.1. Изобретения
		1.2. Полезные модели
2. Отчеты о всякого рода исследованиях	Отчеты о НИР — научно-технический документ, оформленный по ГОСТ 7.32-2001, который содержит систематизированные данные о НИР, описывает состояние научно-технической проблемы и результаты научного исследования	
		1.3. Промышленные образцы
		2.1. Отчеты о маркетинговой информации (МИ)
		2.1.1. Исследование рынка
		2.1.2. Исследование продукта
		2.1.3. Исследование рекламы
2.2. Отчеты о научно-исследовательской работе (НИР)		
2.3. Отчеты об аналитическо-патентной информации (АПИ)		

Наименование интеллектуального товара		Примечание
3.Конструкторско-технологическая документация (КТД)	3.1. Комплект конструкторской документации (КД)	КД, ТД и АПП – результат научно-технической, интеллектуальной, и творческой деятельности, является товаром для рынка новшеств и объектом правовой охраны и учета. На новый продукт, технологию оформляется по ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД
	3.2. Комплект технологической документации (ТД)	
	3.3. Комплект документации об алгоритмах и программах (АПП)	

2.Методику расчета трудозатрат на основе экспертных оценок видов и признаков коммерциализируемости ИТ, определяющую величину стимулирующего материального вознаграждения работников, создающих ИТ. Признаки коммерциализируемости ИТ, соответствующие качественным и количественным критериям новшества, характеризуют конкурентоспособность ИТ, являющейся единственным реальным рыночным фактором на основе которого возможно сопоставление неоднородной продукции, предоставляющей иные возможности и способы удовлетворения одной и той же потребности[2]. Предлагается авторский подход к оценке трудозатрат при создании ИТ. Экспертная оценочная система построена на основе метода Дельфи, дающего достоверную информацию в процессе обмена мнениями между участниками группы экспертов. Оцениваются величина трудозатрат $T_{ит}$ и денежная выручка $D_{выр}$ (будь то материалы патента на изобретение, или отчет о маркетинговой информации по исследованию рынков и т.п.). После продаж ИТ, выручка (расходы на создание и производство плюс прибыль) — является тем потенциальным денежным средством, за счет которого оплачивается труд работников (зарплата плюс вознаграждение), т.е. осуществляется их материальное стимулирование. Для решения этой задачи разработана экспертная методика, в которой трудозатраты определяются адекватно уровню $K_{кплд}$ — количественным оценкам конкурентоспособных преимуществ личности (КПЛ) работников, производящих ИТ [1].

Величина трудозатрат $T_{ит}$, в зависимости от вида ИТ, рассчитывается по формуле

$$T_{ит} = \sum_{i=1}^n (V_{ит i} K_{ит i}) \sum_{j=1}^m K_{кпл j} \quad (1)$$

где $V_{ит i}$ —количественные оценки вида ИТ; $K_{ит i}$ — количественные оценки коммерциализируемости ИТ; $i \dots n$ — количество видов товара; $j \dots m$ —количество работников.

Экспертные оценки видов ИТ $V_{ит i}$, оценки коммерциализируемости ИТ $K_{ит i}$, учитываются в качестве весовых коэффициентов величин трудозатрат.

Виды и количественные оценки ИТ $V_{ит i}$ (табл.2), в которой указаны наименования ИТ и соответствующие им баллы оценки. Эксперты, в соответствии со своими знаниями и опытом выбирают количественную оценку.

Таблица 2

Наименование интеллектуального товара		Количественные оценки, в баллах
1. Объекты промышленной собственности (ОПС)	1.1. Изобретения	1,0 – 1,5
	1.2. Полезные модели	0 – 0,5
	1.3. Промышленные образцы	0 – 0,5
2. Отчеты о всякого рода исследованиях	2.1. Отчеты о маркетинговой информации (МИ)	1,0 – 1,5
	2.1.1. Исследование рынка	0,5 – 1,0
	2.1.2. Исследование продукта	0,5 – 1,0
	2.1.3. Исследование рекламы	0 – 0,5
	2.2. Отчеты о НИР	1,0 – 1,5
	2.3. Отчеты об АПИ	1,0 – 1,5
3.Конструкторско-технологическая документация (КТД)	3.1. Комплект КД	1,0 – 2,0
	3.2. Комплект ТД	1,0 – 2,0
	3.3. Комплект документации об АПП	1,0 – 2,0

Для оценки коммерциализируемости ИТ $K_{ит}$ конкретного ИТ пользуемся табл. 3, в которой приводятся отличительные признаки формулы изобретения или признаки новшества, которые оцениваются качественными и количественными критериями согласно методологии оценки конкурентоспособности товаров, приведенной в [2].

Определяются соответственно техническим решениям (отличительным признакам формулы изобретения или характеристикам новшества) качественные критерии показателя «значимость технического решения» $Z_{тр}$ и «значимость экономического события» $Z_{эс}$ и рассчитываются их количественные значения.

Эксперты, в соответствии со своими знаниями и опытом выбирают качественную и количественную оценки отличительных признаков формулы изобретения или характеристик новшества, которые показывают конкурентоспособность ИТ и привлекательность его для коммерциализации. В табл. 3 сведены результаты экспертизы отличительных признаков формулы изобретения для показателя «Значимость технического решения» $Z_{тр.пат}$. Эксперты, также как и для «Значимости технического решения», определяют соответствие отличительных признаков формулы изобретения или характеристик новшества качественным критериям показателя «Значимость экономического события» $Z_{эс пат}$ и рассчитывают их количественные значения, заполняют анкеты опроса и передают менеджеру группы оценщиков. Суммированием оценок $Z_{тр пат}$ и $Z_{эс пат}$ получаем величину уровня конкурентоспособности ИТ $K_{ит}$.

Таблица 3

Соответствие коммерциализуемого ИТ качественным и количественным критериям показателя «Значимость технического решения»

Отличительные признаки изобретения «Электромеханический тренажер», защищенного патентом РФ № 2361567	Качественные критерии	Количественные критерии, баллы
1. Конкретные детали, конструктивы и функциональные изделия	Универсальные критерии «Значимость технического решения $Z_{тр}$ »	
<i>...стол..., ...две пары взаимно перпендикулярных дуговых электродвигателей...,</i> Прямое соответствие п.п. 3, 6, 7, 8 2. Схемноконструкторские связи <i>...смонтированной в плоскости кольца корпуса между двумя парами индукторов дуговых электродвигателей, платформа связана с магнитопровод-ротором и имеет две пары индукторов, расположенных по осям индукторов дуговых электродвигателей и взаимодействующих с магнитопровод-ротором...</i> Прямое соответствие п.п. 3, 6, 9.	1. Актуальность $A_{и}$	1,0 – 100,0
	2. Соответствие программам важнейших работ P_p	1,0 – 1,25
	3. Сложность решения $C_з$	1,0 – 6,25
	4. Место использования $M_{и}$	1,0 – 5,0
	5. Объём использования $O_{и}$	1,0 – 8,0
	6. Охват охраняемыми мероприятиями $Ш_о$	1,0 – 9,0
	Дополнительные критерии «Значимость технического решения»	
	7. Тип привода автоматизированного устройства P_k	0,9 – 10,0
	8. Тип управления приводом автоматизированного устройства $Э_в$	1,0 – 1,2
9. Упорядоченность структуры технологической среды $У_с$	1,0 – 1,5	
Итого $K_{ит}$		

Эксперты выставляют свои оценки по значениям КПЛ из табл. 4, предлагаемые в [2]. Превосходство собственников бизнеса или результатов интеллектуальной (промышленной) деятельности среди конкретных личностей есть фиксация их более высокой конкурентности в наукоемком бизнесе. Оценка стоимости принадлежащей индивидууму бизнеса или/и промышленной собственности для не собственников равна 1,0. Для собственников она рассчитывается следующим образом: количество баллов равняется стоимости собственности, деленной на один миллион рублей (см. табл.4).

Денежная выручка $D_{выр}$ за ИТ соответственно трудозатратам $T_{ит}$ работников определяется по формуле

$$D_{выр} = V_{ср} T_{ит}, \quad (2)$$

где $V_{ср}$ – средняя выработка одного работника, руб./ час, установленная в организации по предыдущим экономическим событиям; $T_{ит}$ – величина трудозатрат в человеко-часах.

3. Методику оценки стоимости ИТ [1]. Поправочным коэффициентом предлагается величина коэффициента сопоставимости — соотношение между количественными оценками уровней конкурентоспособности УК оцениваемого коммерциализуемого и конкурируемого товаров

$$k_{\text{ит-прот}} = \text{УК}_{\text{ит}} / \text{УК}_{\text{прот}}. \quad (3)$$

Таблица 4

КПЛ, обусловленные внешними условиями жизнедеятельности

	Работодатель		Работник	
	Физическое лицо (собственник фирмы)	Менеджер, уполномоченное лицо управления юридического лица	Физическое лицо (без какой-либо собственности)	Физическое лицо (правообладатель промышленной собственности)
1. Креативность мышления, баллы	Средняя 4,0 - 7,0	Высокая 8,0 - 10,0	Низкая 0 - 3,0	Высокая 8,0 - 10,0
2. Предприимчивость, баллы	Высокая 8,0 - 10,0	Средняя 4,0 - 7,0	Низкая 0 - 3,0	Высокая 8,0 - 10,0
3. Способность к риску, баллы	Высокая 8,0 - 10,0	Средняя 4,0 - 7,0	Средняя 4,0 - 7,0	Высокая 8,0 - 10,0
4. Стоимость принадлежащей индивидууму: бизнеса, баллы; ОПС, баллы	Стоимость бизнеса / 1000000 руб.	1,0	1,0	Стоимость промышленной собственности / 1000000 руб.

Зная цену прототипа $P_{\text{прот}}$ или подобных товаров (которые были недавно проданы на рынках новшеств или товаров), можем определить рыночную стоимость ИТ, которая будет равна

$$P_{\text{ит}} = P_{\text{прот}} \cdot k_{\text{ит-прот}}. \quad (4)$$

Значения $\text{УК}_{\text{ит}}$ и $\text{УК}_{\text{прот}}$ определяются по формулам для показателей «Значимость технического решения $Z_{\text{тр}}$ », «Значимость экономического события $Z_{\text{эс}}$ » и «Потребительская значимость товара» [2]. При разработке вышеизложенных методик использовались модели оценки конкурентоспособности инновационной машиностроительной продукции [2, 3-5].

Выводы.

1. Разработан перечень видов и количественные оценки ИТ разного уровня новизны: мирового, регионального, фирменного и т.п., пользующиеся платежеспособным спросом.

2. Предложены признаки коммерциализуемости ИТ, соответствующие качественным и количественным критериям новшества, характеризующим конкурентоспособность, являющейся единственным реальным рыночным фактором на основе которого возможно сопоставление неоднородной продукции, предоставляющей иные возможности и способы удовлетворения одной и той же потребности.

3. Разработана методика расчета трудозатрат и стоимости ИТ на основе экспертных оценок видов и признаков коммерциализуемости, определяющие величину стимулирующего материального вознаграждения работников, создающих ИТ.

Литература.

1. Изоткина Н.Ю. Интеллектуальная трудовая деятельность на основе владения объектами промышленной собственности. /Под общ.ред. проф. Гаги В.А. – Томск: Изд-во Томск.гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2013. – 132 с.
2. Осипов Ю.М. Конкурентоспособность наукоемкой машиностроительной продукции: экономика и менеджмент: моногр. – Томск: Изд-во Том.гос. ун-та систем управл. и радио-электроники. – 2002. – 247 с.
3. Tseplit A., Grigoreva A., Osipov Y. Developing the model for assessing the competitiveness of innovative engineering products. Applied Mechanics and Materials Vol. 682 (2014) pp 623-630.
4. Syryamkin V.I., Fomin A.A., Nechunaev P.I. Kirikov A.A. On-line system for 3-D image analysis (1991) Pribory I TekhnikaEksperimenta, (5), p.201.
5. Ksenev N.I., Syryamkin V.I., Shidlovskii S.V. Reconstructed structures in the problems of control and investigation of surface images processing algorithms for evaluating solid-body deformations (2009) Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), 68 (9), pp. 813-820.

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

*Е.Г. Григорьева, ассистент кафедры АИ, Д.А. Чинахов, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, Ленинградская, 26, тел. 8(38451)6-26-83
E-mail: sedasch@mail.ru*

В настоящее время одними из наиболее перспективных для использования в машиностроительном производстве являются высокопрочные и износостойкие стали. В нашей стране к высокопрочным относятся легированные стали, временное сопротивление которых, после закалки и отпуска, более 1600 Мпа, что достигается подбором химического состава и наиболее подходящей термической обработкой [1]. Несмотря на высокие эксплуатационные свойства высокопрочных сталей, возникает необходимость восстанавливать детали, изготовленные из данных сталей. Наплавка изношенных поверхностей занимает ведущее место из-за своей универсальности [2]. Высокопрочные стали в сравнении с обычными низкоуглеродистыми и низколегированными требуют специфического подхода к процессу наплавки. Для сталей данного класса характерной особенностью является образование закалочных структур в шве и зоне термического влияния, создающих опасность хрупкого разрушения.

Необходимо также учитывать, что легированные высокопрочные стали (Н18К9М5Т, 30ХГСА, 25ХГСА, 12Х2НЧА и др.) чувствительны к концентраторам напряжений, особенно после обычной закалки и отпуска, а также подвержены охрупчиванию в результате насыщения водородом, что при высоких внутренних напряжениях или циклической нагрузке может служить причиной зарождения холодных трещин.

Данные свойства высокопрочных сталей оказывают негативное влияние и на восстановительные работы наплавкой. Поэтому актуален вопрос разработки эффективного способа восстановления деталей изготовленных из высокопрочных сталей.

Для предупреждения холодного растрескивания современные технологии сварки предполагают применение предварительного и сопутствующего подогрева. Это энерго- и трудоемкие, а также дорогостоящие операции, выполнение которых требует высокой технологической культуры производства. Однако они далеко не всегда обеспечивают отсутствие трещин в сварных соединениях. Кроме того, из-за высокой температуры изделий, вызванной подогревом, резко ухудшаются условия труда сварщиков. Поэтому в настоящее время изготовление конструкций, без предварительного подогрева является одной из основных проблем дуговой сварки и наплавки [9].

Ученые [9] считают, что существенно понизить восприимчивость сварного соединения к холодному растрескиванию позволяет введение в металл шва ловушек водорода. Известно, что ловушками водорода в стали являются различные структурные дефекты, такие, как вакансии, растворенные атомы, дислокации, границы зерен и фаз, микро- и макропоры, неметаллические включения, частицы второй фазы и т. п.

Значительное улучшение стойкости против разрушения вызывает введение в металл шва добавок редкоземельных элементов. Предполагается, что эти элементы сорбируют водород, освобождая от него матрицу металла. Аналогичное полезное действие оказывают другие внутренние ловушки, в частности, мелкодисперсные равномерно распределенные в структуре стали частицы неметаллических включений — сульфидов и оксидов.

Ловушкой водорода может быть также остаточный аустенит. Растворимость водорода в аустените во много раз превышает таковую в феррите и мартенсите, поэтому аустенит является местом стока для водорода. Присутствуя в остаточном аустените, водород не оказывает вредного влияния на процесс растрескивания. Однако сталь, содержащая остаточный аустенит, в течение всего срока службы сварного соединения содержит постоянно потенциальный источник водорода

Одним из наиболее современных способов наплавки, является создание коллективом ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ в содружестве с рядом промышленных предприятий под руководством академика Б. Е. Патона электрошлаковой наплавки. Электрошлаковый процесс наплавки, как и процесс сварки, основан на эффекте выделения теплоты при прохождении электрического тока через расплав шлака, состоящий из окислов, галоидов и их смесей.

ЭШН обладает рядом преимуществ, такими как исключение предварительного и сопутствующего нагрева, повышенное качество наплавленного металла, возможность получения наплавленного

металла с композиционной структурой, возможность наплавки сплавов с переменным химическим составом и т.д.

Данные преимущества характеризуют процессы ЭШН как прогрессивные технологические решения, обеспечивающие при высокой производительности превосходное качество наплавленного металла.

Основными недостатками метода являются: большая погонная энергия процесса, что обуславливает перегрев основного металла в ЗТВ, сложность и уникальность оборудования, невозможность получения слоев малой толщины (кроме способа ЭШН лентами), большая длительность подготовительных операций.

Авторы работ [3] предлагают усовершенствовать технологии наплавки для снижения вероятности образования трещин. Наплавленный слой, созданный по традиционной технологии последовательной укладкой валиков по винтовой траектории с постоянным перекрытием, обладает существенной неоднородностью свойств в различных направлениях. Так, стойкость металла против износа и трещин вдоль шва и поперек него существенно отличаются. При наплавке рабочего слоя в виде слоистой композиции, в которой смежные слои выполняются материалами с различными модулями упругости, обеспечивается необходимое соотношение пластических и прочностных свойств. При наличии градиента механических свойств на границе смежных слоев разрушение композиции ведет к резкому увеличению радиуса вершины трещины, что препятствует ее дальнейшему развитию.

В качестве препятствий на пути развития трещин могут также служить участки наплавленного металла, ориентированные таким образом, чтобы направлению вероятного роста трещины соответствовало направление максимальной сопротивляемости его образованию трещин. С этой целью рабочую поверхность необходимо наплавлять швами непрямолинейной формы (дугообразными, зигзагообразными). В этом случае на пути развития трещин периодически будут встречаться участки с высокой стойкостью против их развития (поперечные участки шва).

Одним из путей сдерживания процессов зарождения и развития трещин является получение наплавленной поверхности кольцевыми швами с предварительным формированием дискретных наплавленных участков в виде точек или поперечных коротких валиков на пути будущей траектории наплавки непрерывного кольцевого шва.

Для реализации усовершенствованной технологии наплавки гетерогенных слоев необходимо изготовление дорогостоящего оборудования для поперечного перемещения электрода. Что является сдерживающим фактором, ограничивающим широкое применение данного способа.

Авторы [4] предлагают для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов (валиков). В качестве специальной техники наплавки ремонтного шва обычно применяется обратно-ступенчатый способ или, например, «горкой». Существует и ряд других способов, в том числе с использованием модулированных режимов работы механизированного оборудования, использование импульсной подачи электродной проволоки, другие виды импульсно-дуговых процессов. Для наплавки рекомендуют использовать разработанные в ИЭС имени Е. О. Патона самозащитные порошковые наплавочные электродные проволоки типов ПП-АН 198 и ПП-АН 202, позволяющие наплавлять металл с высокими механическими показателями.

Следует отметить, что в последнее десятилетие все с большим успехом при наплавке используются полуавтоматы с импульсной подачей электродной порошковой проволоки, в частности, при сложных ремонтах уникальной техники созданием особых типов наплавленных поверхностей с регулируемым смешиванием основного и присадочного металла и весьма существенной экономией электроэнергии и электродных материалов [5].

Для реализации усовершенствованной технологии необходимо изготовление дорогостоящей самозащитной проволоки и высокая квалификация персонала выполняющего наплавочные работы. Так же для рассмотренных технологий необходимо применение оборудования (полуавтоматов) соответствующего специфическим требованиям. Все это является сдерживающим фактором, ограничивающим широкое применение данного способа.

В настоящее время, наиболее распространённым способом восстановления, является, наплавка в среде защитных газов. Она отличается простотой процесса в сочетании с высокой производительностью, маневренностью и универсальностью. Важным недостатком данного способа в отношении высокопрочных сталей, является необходимость предварительного подогрева детали и последующей термической обработки, для предотвращения закалки и образования холодных трещин. Эти операции усложняют техпроцесс и ведут к дополнительным энергетическим и трудовым затратам.

Стоит отметить, что учеными [6-8] были проведены экспериментальные исследования сварочных процессов с традиционным (одноструйным) и с разработанным двухструйным способом газовой защиты зоны сварки. Применение двухструйной газовой защиты обеспечивает по сравнению с традиционной надежную защиту сварочной ванны, измельчение структуры металла сварного шва, плавный переход от металла шва к основному, повышение механических свойств сварных соединений, уменьшает химическую неоднородность металла шва за счет более интенсивного газодинамического перемешивания расплавленного металла в сварочной ванне.

Способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в CO_2 обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим [7].

Сварка и наплавка являются родственными процессами, стоит предположить, что данный способ сварки можно успешно применять и для нанесения наплавленного слоя. Геометрия наплавляемого валика с применением двухструйного сварочного сопла имеет более плоскую форму, что является благоприятным фактором для применения его при наплавке.

Применение флюса или защитных газов при дуговой наплавке связано с определенными технологическими трудностями. Использование порошковой проволоки или ленты с необходимым составом сердечника позволяет отказаться от флюса и защитных газов.

В состав сердечников электродных материалов кроме порошков легирующих компонентов вводят газо- и шлакообразующие вещества, которые защищают жидкий металл от воздействия атмосферы и повышают стабильность процесса наплавки.

В тоже время износостойкая наплавка быстро изнашиваемых деталей порошковыми самозащитными электродными проволоками по ГОСТ 26101-84 позволяет достаточно быстро ликвидировать дефицит быстро изнашиваемых дорогостоящих элементов тяжелого оборудования. Для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов в большинстве случаев необходимо пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов (валиков). Правильный выбор гетерогенной присадки и соответствующей техники наплавки позволяют в большинстве случаев отказаться от проведения затратной операции внешнего нагрева.

Из выше изложенного установлено, что для получения качественного наплавленного слоя на детали из высокопрочных сталей целесообразно выполнять следующие технологические рекомендации:

- применять порошковые проволоки, соответствующие требованиям предъявляемым к восстановленным поверхностям;
- применять двухструйную газовую защиту.

В дальнейшем планируется провести подробные исследования процесса наплавки высокопрочной стали с применением порошковой проволоки и двухструйной газовой защиты.

Поиск оптимального состава флюса порошковой проволоки является трудоемким процессом, требующим проведения достаточно большого количества экспериментальных исследований. Математическое моделирование, в этом случае, является одним из наиболее эффективных средств планирования и прогнозирования свойств наплавленного слоя. Правильное планирование эксперимента с элементами математического моделирования поможет максимально полно изучить структуру и свойства наплавляемого валика.

Литература.

1. Баранчиков В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов, Справочник. – М.: Машиностроение, 1990-400 с.
2. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова.-М.:Машиностроение, 1983.-560с.
3. Чигарев В.В. Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя / В. В. Чигарев, В. П. Иванов, И. С. Псарева // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. - Маріуполь, 2003. - Вип. 7. - С. 234-237.
4. Мозок В. М., Лебедев В.А. Новые возможности ремонтов деталей тяжелой техники импульсно-дуговой сваркой и наплавкой вне ремзаводов // Металлообработка. 2009. №4.С. 16–19.
5. Lebedev V. A., Maksimov S. Yu. Reduction in power consumption and weld quality control in welding using a controllable pulsed feed of electrode wire / International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and ansportation Systems (AWST-2011).24–25 October 2011. Antalya, Turkey. 371–373 p.18 ISSN

6. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапажков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов // Автоматизация и современные технологии. 2003. №3. С.12-18.
7. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография/Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт.-Томск: Изд-во ТПУ, 2010.-114с.
8. Чинахов Д.А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография/Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.-151с.
9. Походня И.К., Явдошин И.Р. и др. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / НАН Украины; Институт электросварки им. Е.О.Патона / Игорь Константинович Походня (ред.). — К. : Наукова думка, 2004. — 442с.

СЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ КАК СРЕДСТВО УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ СПЕКТРОМ СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ ЦАПФЫ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ И УРОВНЕМ ЗАГРУЗКИ ЕЕ БАРАБАНА

*Ю.И. Еременко, д.т.н., Д.А. Полеценко, к.т.н., А.И. Глуценко к.т.н.,
Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"
309516, г. Старый Оскол, Белгородская обл., м-н. Макаренко, д.42, (4725) 45-12-00
E-mail: po-dima@yandex.ru*

На сегодняшний день на горно-обогатительных предприятиях при переработке рудного материала в шаровых мельницах операторы испытывают определенные трудности при управлении данными агрегатами. Суть проблемы заключается в том, что оптимальный по удельному расходу энергоресурсов режим работы объекта состоит в максимально возможной загрузке барабана мельницы рудным материалом. В свою очередь, данный режим характеризуется тем, что объект при подаче в мельницу излишнего объема руды может перейти в состоянии перегруза, которое сопровождается выносом из мельницы крупной (неизмельченной гали), шаров и приводит к необходимости аварийной остановки объекта с последующим ручным извлечением излишнего материала из мельницы. Как следствие, простой мельницы до устранения последствий перегруза ведет к существенным экономическим потерям предприятия. Чтобы избежать подобного негативного явления оператор мельницы вынужден работать в режиме недогруза. Как правило утверждается, что недогруз составляет 5 - 7%. Но, на самом деле, проверить данное обстоятельство не представляется возможным, и оператор чаще перестраховывается, чем пытается обеспечить 5 % недогруза, вследствие чего объем недогруза может составлять 5 - 15%. При большой энергоемкости привода мельницы (3 - 4 МВт) даже лишние 5% выливаются в значительные суммы неэффективно потраченных энергоресурсов. В свою очередь повышение производительности даже на 1% может принести существенную экономическую прибыль предприятию.

Невозможность оптимально управлять мельницей является следствием отсутствия метода измерения, способного точно определить уровень заполнения мельницы, для того чтобы замкнуть контур управления по изменению ее загрузки.

В горнорудной промышленности известен способ измерения степени загрузки мельницы на основании анализа сигнала активной мощности, потребляемой синхронным двигателем мельницы. На практике данный способ дает весьма противоречивые результаты. Расход энергии связан со степенью заполнения мельницы дробящейся средой. С ростом степени заполнения мельницы дробящейся средой растет расход энергии на измельчение и достигает максимума при определенной степени заполнения. Но при дальнейшем увеличении степени заполнения мельницы расход энергии уменьшается, что не позволяет нам судить о дальнейшей загрузке мельницы.

Давно известны методы определения степени заполнения барабана мельницы на базе анализа сигналов звука, исходящего от вращающегося барабана и вибрации ее цапф. Существует промышленный прибор, такой как ВАЗМ-1 [1], в основе работы которого лежит анализ спектра получаемых сигналов. Однако для управления загрузкой данное устройство не используется, так как его показания не обеспечивают требуемую точность, необходимую для целей управления, а показывают лишь направление изменения объема рудной массы в барабане мельницы. Это происходит вследствие того, что процесс помола руды достаточно сложен и многофакторен. На состояние спектра оказывают влияние твердость руды, объем и степень износа шаровой загрузки, механические составляющие зубчатых соединений узлов вращения барабана, состояние брони мельницы и т.д. Вследствие указанных причин спектр звука и вибрации процесса измельчения изменяется, что требует перенастройки параметров ВАЗМа. Настройка данного устройства является достаточно трудоемким процессом, можно даже сказать "научно-исследовательским", так как нужно определить наиболее информативные диапазоны частот по полученным спектрограммам и для этих диапазонов подобрать коэффициенты масштабирования, которые бы обеспечивали агрегированный выходной сигнал, характеризующий загрузку барабана. В реалиях производства подбором оптимальных параметров устройства не занимаются и работают на исходных настройках.

Целью данной работы является поиск нового, более эффективного метода обработки данного сигнала за счет применения современных интеллектуальных алгоритмов с возможным выявлением зависимостей, характеризующих процесс загрузки барабана мельницы.

Для осуществления поставленной цели был проведен эксперимент в лабораторных условиях. В качестве объекта исследования был использован макет шаровой мельницы. Структурная схема с отображением использованного оборудования изображена на рис. 1.

В качестве привода мельницы использовался электродвигатель КПА-563 У2 коллекторный постоянного тока с независимым возбуждением, подключенный к блоку питания со встроенным регулятором скорости. В качестве датчика получения сигнала виброускорения использовался вибропреобразователь общего назначения AP 2037 с осевой чувствительностью 10,1 мВ/г и частотным диапазоном 0,5...15000 Гц. Данный датчик был установлен на цапфе мельницы. Сигнал с датчика AP 2037 поступал на 4 - каналный, 24 – разрядный модуль аналогового ввода NationalInstruments NI 9234, имеющий четыре BNC коннектора для подключения четырех каналов аналогового ввода с одновременной оцифровкой сигналов. Данный модуль устанавливается в специальное шасси National Instruments cDAQ-9191, подключаемое к ПК при помощи USB интерфейса. Значение скорости вращения барабана мельницы было получено путем снятия сигнала с инкрементального энкодера Omron E6C2-CWZ5B, установленного на валу барабана мельницы. Сигнал с датчика поступал на контроллер Simatic S7 – 300 с установленным центральным процессором серии CPU 314C-2 DP и блоком питания PS 307 5A.

Контроллер соединялся с ПК при помощи MPI – USB переходника Siemens PC Adapter USB. В качестве центра обработки сигналов использовался ПК с установленными на него пакетами WinCC, LabView SignalExpress и MatLab. Scada система WinCC использовалась для контроля скорости вращения барабана мельницы с целью обеспечения одинаковой скорости вращения барабана мельницы в каждом из опытов, так как реальные объекты вращаются при помощи синхронных машин.

Известно, что режим работы шаровой мельницы определяется частотой вращения барабана [2]. При некоторой частоте вращения барабана мельницы, которая будет приводить к равенству действующих на шар центробежной силы и силы тяжести, шар с круговой траектории не сойдет, так как радиальная составляющая меньше силы тяжести шара и она не сможет преодолеть равную ей по значению центробежную силу. При такой критической частоте шар все время будет двигаться по круговой траектории, или, как говорят, будет центрифугировать. Частота, определяемая формулой (1), представляет собой критическую частоту вращения мельницы [2].

$$n_{кр} = \frac{\sqrt{g \cdot 30}}{\pi \cdot R} \quad (1)$$

На производстве барабан мельницы вращается со скоростью 10-15 об/мин. На основании значений параметров макета мельницы, приведенных в таблице 1, была вычислена критическая скорость его вращения по формуле (1):

$$n_{кр} = \frac{\sqrt{g \cdot 30}}{\pi \cdot R} = \frac{\sqrt{g \cdot 30}}{\pi \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi}} = \frac{\sqrt{9,81 \cdot 30}}{3,14 \cdot \frac{0,21}{2 \cdot 3,14}} = \frac{93,9628}{0,8948} = 105 \text{ об/мин.}$$

где l – длина окружности барабана мельницы, R – радиус барабана мельницы, $n_{кр}$ – критическая скорость вращения его барабана.

Оптимальной скоростью вращения барабана мельницы считается скорость, способная обеспечить водопадный режим работы объекта и ее значение составляет 75 – 80 % от критической [2]. Исходя из этого, при проведении экспериментов задавалась скорость равная 84 об/мин, что составляет 80 % от рассчитанной критической скорости.

Опыт состоял в изменении шаровой загрузки барабана мельницы от 0 кг до 8 кг с интервалом в 1 кг, и далее до 11,6 кг мельница загружалась рудной массой с интервалом в 0,4 кг. Затем до 10 кг мельница разгружалась с шагом в 0,2 кг при неизменной массе шаровой загрузки. При этом для каждого из указанных режимов производился съем сигнала виброускорения в течение 14 мин. Данные снимались с частотой 30 кГц и записывались в файл формата <name>.lvm.

Анализ снятых сигналов виброускорения показал, что производить оценку степени заполнения барабана только по амплитуде сигнала невозможно. В зависимости от загрузки амплитуда то увеличивается, то уменьшается, что видно на графика скользящего среднего (вычислялось по 180000 точкам) (рис. 2) сигнала виброускорения для пяти режимов загрузки мельницы. Для получения необхо-

димых результатов и выявления закономерностей был проведен спектральный анализ полученных сигналов [3 - 4].

На основании полученных спектрограмм была определена следующая зависимость: чем больше уровень шаровой загрузки мельницы, тем выше амплитуда сигнала виброускорения и чем больше уровень загрузки мельницы рудой, тем ниже амплитуда сигнала виброускорения в определенном частотном диапазоне.

В качестве примера на рис. 3-а приведен спектр сигнала виброускорения цапфы макета мельницы при загрузке 11,6 кг. Видно, что примерно половина спектра неинформативна, поэтому для дальнейших исследований выделялась составляющая спектра в диапазоне от 0 до 7.5 кГц (рис. 3-б).

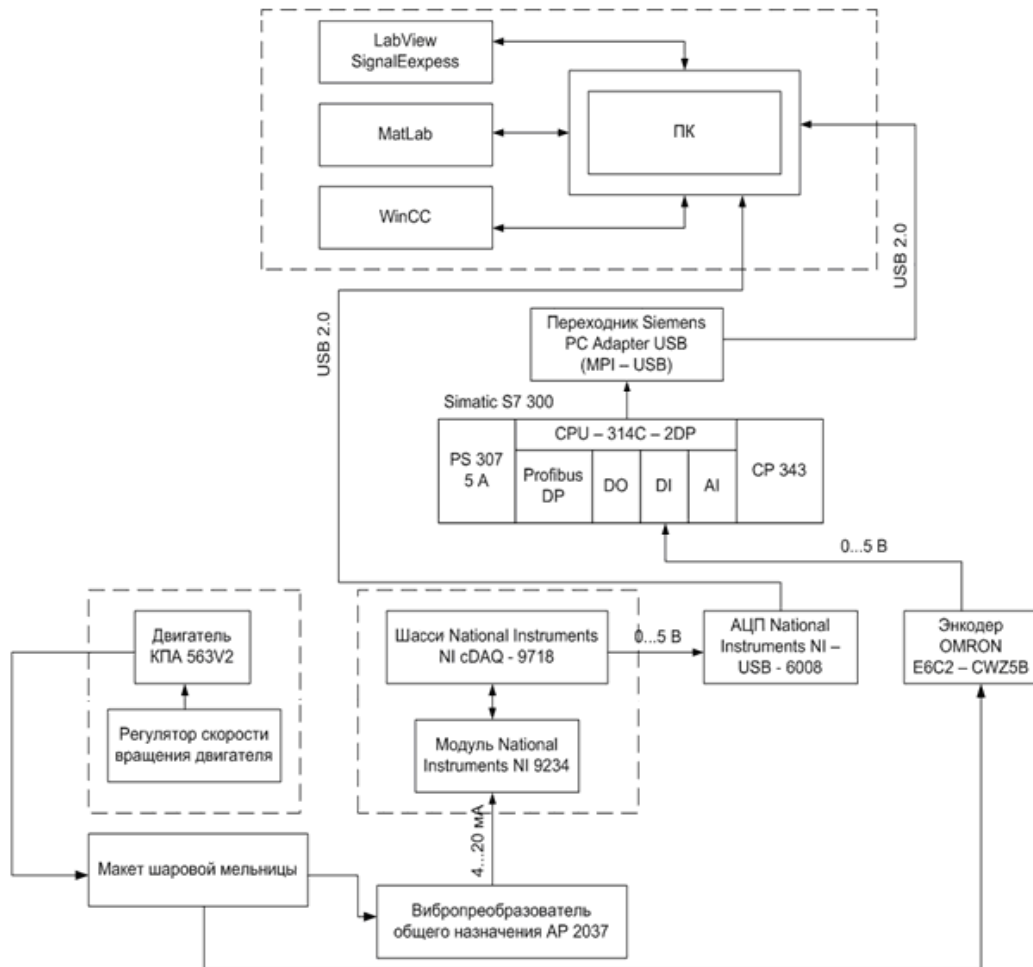


Рис. 1. Схема комплекса технических средств исследования

Таблица 1

Характеристики макета мельницы

Длина окружности барабана мельницы, м	0,51
Длина барабана мельницы, м	0,34
Вес макета (общий), кг	26
Вес макета (вращающаяся часть), кг	15

Следует отметить, что в результате анализа литературных источников не удалось выявить методик обработки спектров нейронными сетями. Поэтому, на первом этапе исследования была предпринята попытка подать весь спектр на НС, то есть создать сеть с 7500 входов (герц на канал), на выходе которой формировался бы сигнал загрузки мельницы. Опыты проводились в среде пакета Matlab на ЭВМ с процессором IntelCore i7 с частотой 3.4 ГГц и объемом оперативной памяти 8 Гб.

Такой эксперимент "в лоб" был проведен и не увенчался успехом, поскольку не хватило вычислительной мощности системы. С целью сокращения структуры НС был снижен объем подаваемой на нее информации. Для этого спектр был усреднен по поддиапазнам по 50 Гц. Представленный на рис. 3-в график полученного сигнала состоит из 150 точек. Следует отметить, что данный способ усреднения сформировался в результате перебора различных значений числа точек усреднения.

Таким образом, была сформирована НС, состоящая из 150 входов, 40 нейронов в скрытом слое с функциями активации гиперболический тангенс. В выходном слое был использован один нейрон с линейной функцией активации.

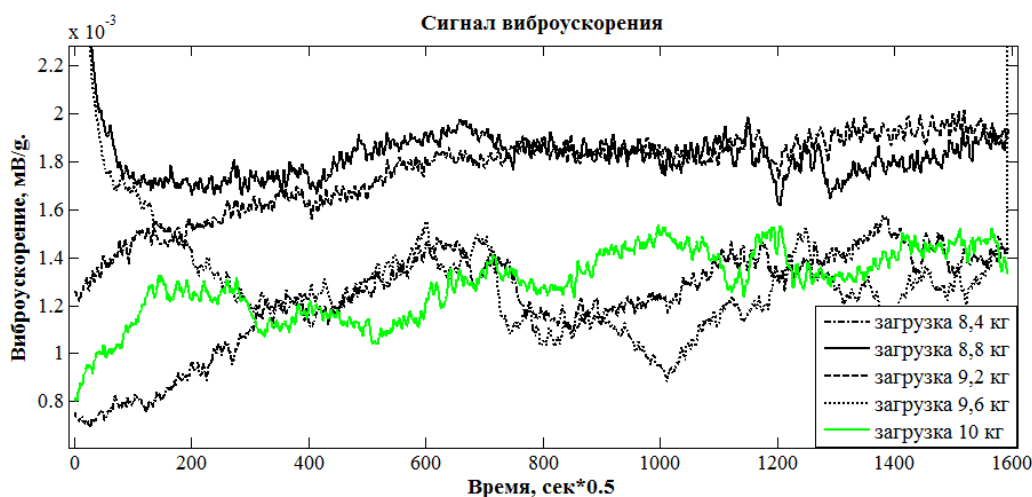


Рис. 2. Усредненные тренды сигналов виброускорения

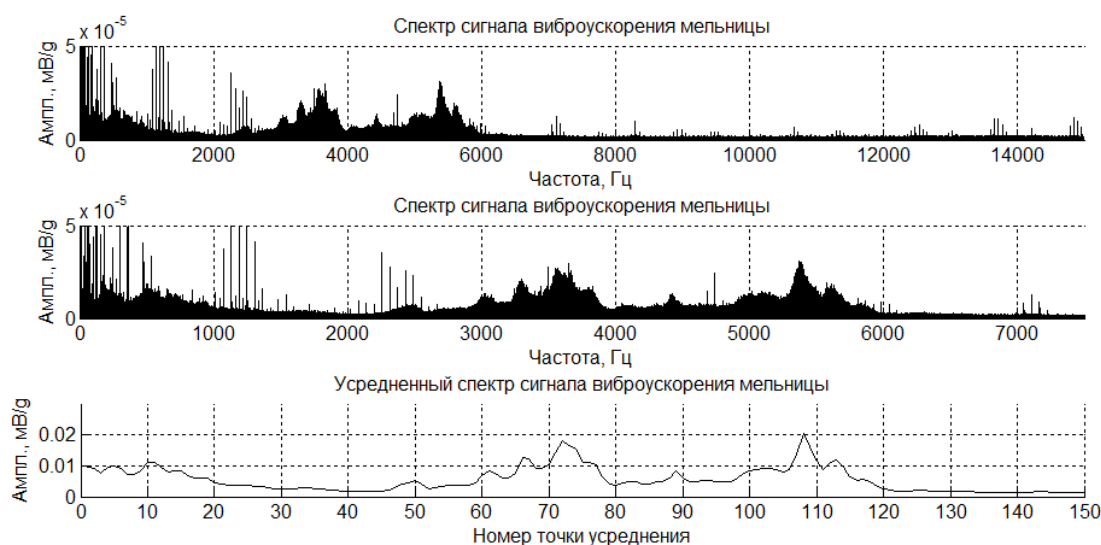


Рис. 3. Характеристики нейронной сети

Данная сеть подверглась обучению, которое проводилось стандартными методами языка Matlab, а именно функцией *train()*[5]. На входы подавались усредненные спектры сигналов виброускорения цапфы макета мельницы для различных режимов загрузки: от 8 кг до 11.6 кг с шагом в 0.4 кг, а в качестве целевых значений использовались соответствующие значения загрузки барабана.

После обучения на НС для тестирования были поданы входные данные как участвовавшие в обучении, так и данные, которых не было в обучающей выборке. Речь идет о съемах сигналов при разгрузке мельницы с 11.6 кг до 10 кг с шагом 0.2 кг. Полученный график отработки НС представлен на рис. 4, а в таблицах 2, 3 приведены конкретные числовые значения с рассчитанными отклонениями от целевых.

Из графика на рис. 4 и таблиц 2, 3 видно, что точки соответствующие элементам обучающей выборки дают нулевую погрешность, а ошибка на данных тестовой выборки не превышает 0,18 кг по абсолютному значению, а в процентах от чистой загрузки (без учета массы шаров равной 8 кг) - 6,82 %.

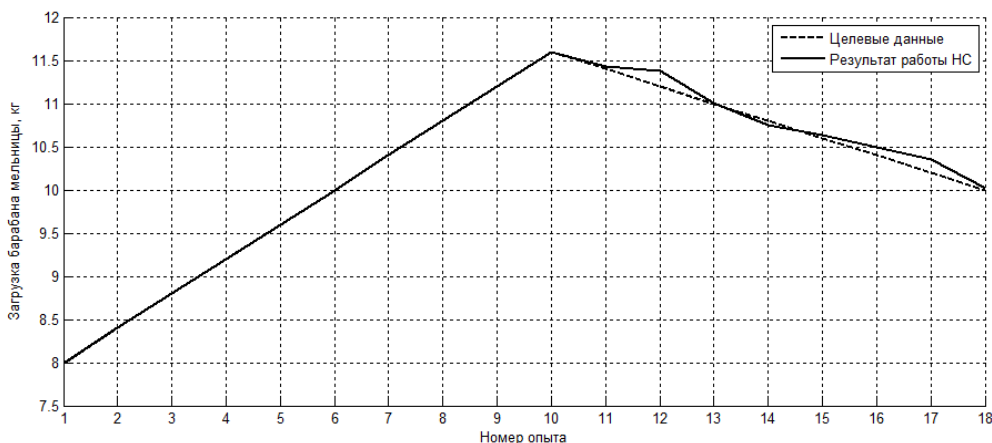


Рис. 4. Обработка целевого вектора загрузки мельницы нейронной сетью

Таблица 2

Результат работы нейронной сети на обучающей выборке

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загрузка барабана, кг.	8	8,4	8,8	9,2	9,6	10	10,4	10,8	11,2	11,6
Результат формируе-мый НС, кг	8,	8,4	8,8	9,2	9,6	10	10,4	10,8	11,2	11,6
Ошибка, кг	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% отклонения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3

Результат работы нейронной сети на тестовой выборке

№ опыта	11	12	13	14	15	16	17	18
Загрузка барабана, кг.	11,4	11,2	11	10,8	10,6	10,4	10,2	10
Результат формируе-мый НС, кг	11,43	11,38	11,01	10,75	10,64	10,50	10,35	10,02
Ошибка, кг	0,03	0,18	0,01	0,05	0,04	0,10	0,15	0,02
% отклонения	0,88	5,63	0,33	1,78	1,54	4,17	6,82	1

По результатам опытов можно сделать вывод о том, что нейронные сети возможно применять для обработки сигнала виброускорения с целью выявления зависимости между изменением его спектра и уровнем загрузки шаровой мельницы. Также прозрачным является дальнейшее направление исследований, которое будет заключаться в оптимизации как структуры НС, так и, что более важно, поиске наиболее информативных областей в спектре сигнала виброускорения, характеризующих уровень загрузки барабана, с целью снижения погрешности формируемого нейронной сетью выходного сигнала.

Литература.

- Улитенко К.Я., Маркин Р.П., Соколов И.В. Виброакустический анализ процессов дробления и измельчения на горно-обогатительных предприятиях. Горный журнал. - 2009. - №10 - с. 72-76.
- Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: «Недра»,1980. – 320 с.
- Без паники! Цифровая обработка сигналов. / Юкио Сато : пер. с яп. Селиной Т.Г. - М.:Додэка-XXI, 2010. -176 с.: ил.
- Пожарский Ю. М., Полещенко Д.А., Подковыров И. Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный журнал. - 2013. - №2 - с.115-118.
- Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Синтез системы управления чашевым окомкователем с нейросетевой надстройкой и оценка ее эффективности относительно шаговой системы экстремального управления // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2011. - №10. – С.56-61.

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНТУРНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ВНЕШНЕГО ДВИЖИТЕЛЯ ГЕОХОДА**

*В.В. Аксёнов *, А.А. Хорешок ***, К.А. Ананьев **, А.Н. Ермаков ***

**Институт угля СО РАН, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10*

***ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва»
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: 7904375999@ya.ru*

Необходимость формирования каналов за контурами выработки связана с обоснованной рядом исследований технологией образования и крепления полостей в подземном массиве - геовинчестерной технологией [1, 2, 3].

Геовинчестерная технология предполагает два типа формируемых законтурных каналов: каналы внешнего движителя [4] и каналы элементов противовращения [5]. Для разрушения породного массива за контурами выработки разрабатываются специальные исполнительные органы – законтурные исполнительные органы (ЗИО) (рисунок 1) [6].

Для описания взаимодействия геохода и геосреды и создания математической модели исполнительных органов геохода необходимо знать положение точек приложения сил возникающих при разрушении пород. Точки приложения сил характеризуются координатами резца ЗИО.

Зависимость между входными параметрами и координатами точки в общем виде по аналогии с [6] может быть представлена следующим выражением:

$$\bar{X}_{ij} = \begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{bmatrix} = f(k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{6i}, t_j), \quad (1)$$

где x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} – соответствующие координаты i -ой рассматриваемой точки в j -ом положении ЗИО, м;

k_1 – конструктивные параметры геохода;

k_2 – кинематические параметры геохода;

k_3 – конструктивные параметры ЗИО;

k_4 – параметры характеризующие положение ЗИО на геоходе;

k_5 – кинематические параметры ЗИО;

k_{6i} – параметры характеризующие положение i -го резца на ЗИО;

t_j – текущее (j -ое) значение времени, с.

В данной работе получена кинематическая модель для ЗИО каналов внешнего движителя с осью вращения условно параллельной оси геохода (дискового ЗИО). Исходные данные для расчёта представлены на рисунках 1, 2 и в таблице 1.

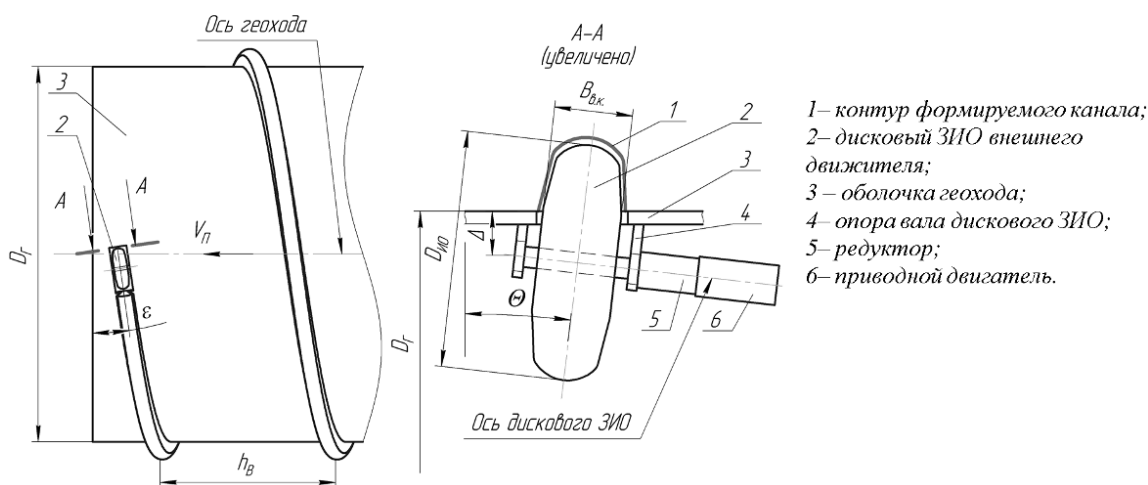


Рис. 1. Схема сечения внешнего движителя с дисковым ЗИО

Таблица 1

Исходные данные		
Наименование параметра	Единица измерения	Обозначение
Конструктивные параметры геохода		
Диаметр геохода	м	D_c
Шаг внешнего движителя	м	h_b
Кинематические параметры геохода		
Угловая частота вращения геохода	рад/с	ω_1
Конструктивные параметры ЗИО		
Диаметр диска	м	D_{uo}
Параметры характеризующие положение диска на геоходе		
Смещение центра оси диска ЗИО относительно оболочки геохода в направлении от оси геохода	м	Δ
Угол наклона ЗИО к плоскости забоя относительно оси ox_1	град	θ
Угол наклона ЗИО к плоскости забоя относительно оси oz_1	град	α
Угол установки ЗИО на корпусе геохода к плоскости OYZ	град	ζ
Кинематические параметры ЗИО		
Угловая частота вращения диска	рад/с	ω_2
Параметры характеризующие положение резца на ЗИО		
Радиус установки i -го резца относительно оси исполнительного органа	м	r_i
Расстояние от основания диска до i -го резца	м	t_{pi}
Угол установки i -го резца	град	φ_{0i}

Угол наклона диска θ , к плоскости забоя (рисунок 1) необходим для формирования наклонных профилей каналов, а угол ε для ориентации диска в соответствии с углом подъема винтовой лопасти.

Параметры φ_{0i} , r_i и t_{pi} являются установочными, характеризуют расположение резцов на диске ЗИО и могут быть определены по схеме расстановки резцов (рисунок 2).

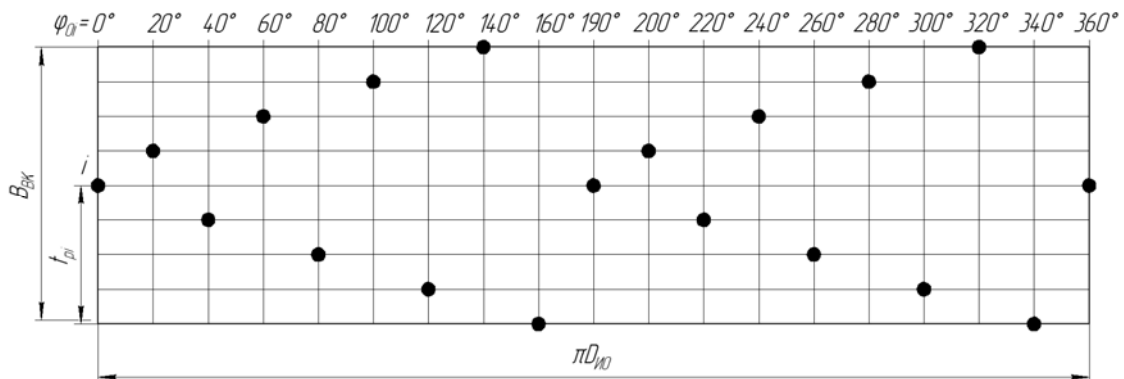


Рис. 2. Пример схемы расстановки резцов на диске

В принятой локальной (связанной с ЗИО) системе координат $ox_1y_1z_1$ (рисунок 3):

- ось oz_1 направлена в сторону вектора подачи геохода (V_n);
- ось oy_1 направлена от центра геохода;
- ось ox_1 направлена по касательной к оболочке геохода;
- оси ox_1 и oy_1 образуют плоскость параллельную основанию диска.

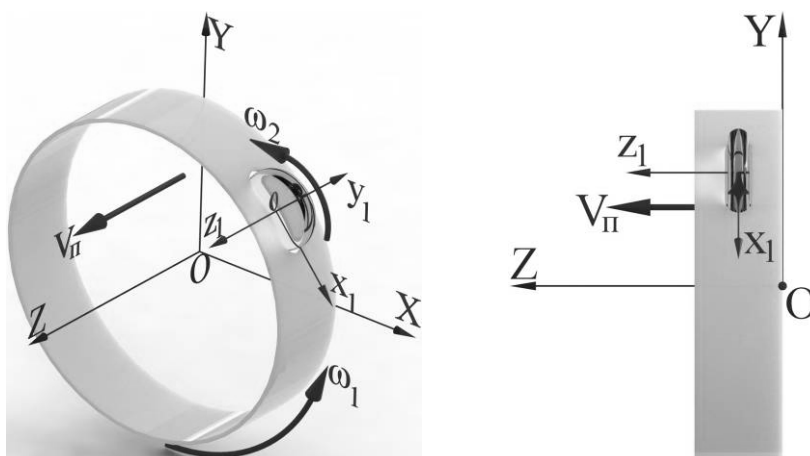


Рис. 3. Схема расположения ЗИО в принятых системах координат

Зададим положение точки на диске с учётом только некоторых параметров k_6 .

$$\overline{X_{oi}} = \begin{bmatrix} r_i \\ 0 \\ t_{pi} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Вращательное движение диска относительно оси oz_1 (параметр k_5) с учётом углов установки резцов (рисунок 2) может быть описано следующим произведением

$$\overline{X'_{oij}} = R_{\varphi_{oiz}} \overline{X_{oij}}, \quad (3)$$

где $R_{\varphi_{oiz}}$ – матрица поворота ЗИО вокруг оси oz_1 [8].

$$R_{\varphi_{oiz}} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_{oi} + \varphi_{mj}) & -\sin(\varphi_{oi} + \varphi_{mj}) & 0 \\ \sin(\varphi_{oi} + \varphi_{mj}) & \cos(\varphi_{oi} + \varphi_{mj}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

где φ_{mj} – текущий угол поворота диска от первоначального положения, град.

Текущий угол поворота диска от первоначального положения φ_{mj} , град определится по формуле

$$\varphi_{mj} = \omega_2 t_j. \quad (5)$$

Иногда (в частности для анализа величины снимаемой стружки за оборот) удобнее оказывается задавать текущий угол поворота ЗИО φ_{mj} , град, не через время, но через количество рассматриваемых оборотов ЗИО и условный номер рассматриваемого положения:

$$\varphi_{mj} = \frac{k_{об} 2\pi (j-1)}{n_{пол}}, \quad (6)$$

где $k_{об}$ – число рассматриваемых оборотов ЗИО.

Параметры k_4 , характеризующие положение ЗИО относительно геохода, учитываются выражением

$$\overline{X''_{kij}} = R_{\varepsilon_{oy}} R_{\Theta_{ox}} \overline{X'_{kij}} + M_{oy}, \quad (7)$$

где $R_{\Theta_{ox}}$ – матрица поворота диска относительно оси ox_1 на угол Θ ;

$R_{\varepsilon_{oy}}$ – матрица поворота диска относительно оси oy_1 на угол ε .

$$R_{\Theta_{ox}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\Theta) & \sin(\Theta) \\ 0 & -\sin(\Theta) & \cos(\Theta) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

$$R_{\varepsilon oy} = \begin{bmatrix} \cos(-\varepsilon) & 0 & \sin(-\varepsilon) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-\varepsilon) & 0 & \cos(-\varepsilon) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Знак минус перед углом поворота принят, чтобы при задании положительного угла, поворот осуществлялся в соответствии с ориентацией лопастей внешнего движителя.

Необходимо учитывать порядок членов в выражении (9) от которого будет зависеть порядок поворота диска. В случае, когда поворот осуществляется сначала вокруг оси oy_1 , а затем вокруг ox_1 матрицы поворота в выражении необходимо менять местами. Возможен случай, когда поворот производится не поочерёдно вокруг координатных осей, а относительно повернутого диска. В этом случае необходимо использовать матрицу поворота относительно произвольной оси [7].

Расстояние между осью геохода и осью диска по оси oy_1 учитывается вектором переноса M_{oy} :

$$M_{oy} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{D_\varepsilon}{2} + \Delta \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Для головной секции и ЗИО внешнего движителя движение точки с координатами задаваемыми вектором \bar{X}_{ij} совместно с геоходом в неподвижной системе координат OXYZ (рисунок 3) описывается следующим выражением:

$$\overline{X_{\varepsilon oij}} = R_{\varphi_{\varepsilon o zj}} \bar{X}_{ij} + M_{\varepsilon o zj}, \quad (11)$$

где $R_{\varphi_{\varepsilon o zj}}$ – матрица поворота описывающая вращательное движения геохода;

$M_{\varepsilon o zj}$ – вектор поступательного движения геохода.

Вращательное движение геохода может быть описано матрицей поворота относительно оси OZ.

$$R_{\varphi_{\varepsilon o zj}} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_{\varepsilon j} + \zeta) & \sin(\varphi_{\varepsilon j} + \zeta) & 0 \\ -\sin(\varphi_{\varepsilon j} + \zeta) & \cos(\varphi_{\varepsilon j} + \zeta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $\varphi_{\varepsilon j}$ – текущий угол поворота геохода от первоначального положения, град.

Текущий угол поворота геохода можно представить в виде:

$$\varphi_{\varepsilon j} = \omega_1 t_j. \quad (13)$$

Или с учётом выражений (3) и (4) в виде зависимости от угла поворота ЗИО

$$\varphi_{\varepsilon j} = \varphi_{mj} k, \quad (14)$$

где k – отношение угловых скоростей вращения [1].

$$k = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (15)$$

Поступательное движение ЗИО вместе с геоходом в направлении забоя представим с помощью вектора вида:

$$M_{\varepsilon o zj} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{h_\varepsilon \varphi_{mj} k}{2} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Таким образом, положение точки на ЗИО, с учётом всех конструктивных и установочных размеров, может быть однозначно определено подстановкой матриц полученных выше в выражение

$$\bar{X}_{ij} = R_{\varphi_{\varepsilon o zj}} \left(R_{\varepsilon oy} R_{\varphi_{\varepsilon ox}} R_{\varphi_{\varepsilon o z}} \bar{X}'_{kij} + M_{oy} \right) + M_{\varepsilon o zj} \quad (17)$$

На рисунке 4 траектория точки на ЗИО за период одного оборота геохода представлена графически. Для построения графика были приняты следующие параметры: $D_c=2$ м; $k=0,01$; $h_B=0,5$ м; $t_{pi}=0,15$ м; $r_i=0,2$ м; $\varphi_{oi}=10^\circ$; $\Delta=0$; $\theta=\alpha=\zeta=0^\circ$.

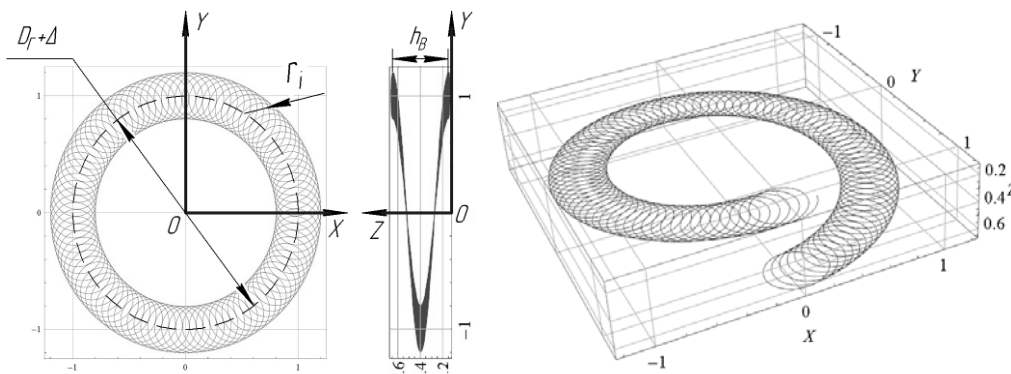


Рис. 4. Траектория точки на ЗИО

На рисунке 5 представлена траектория точки на ЗИО за период одного оборота геохода с углом наклона диска $\theta=20^\circ$. Значения остальных параметров указаны выше.

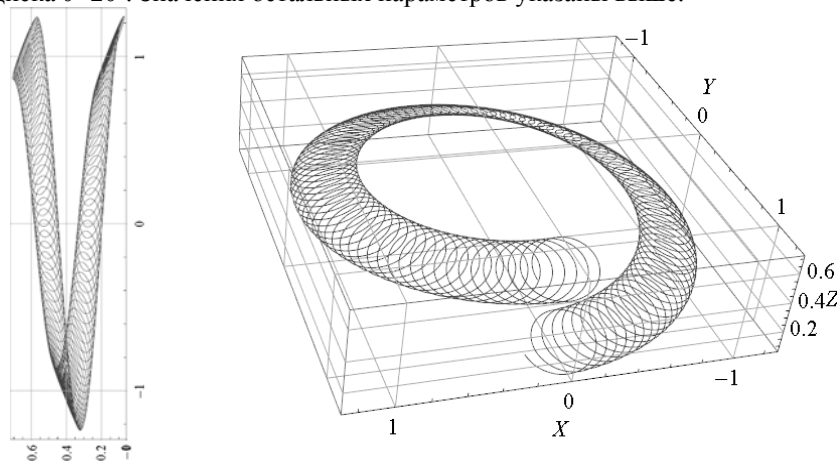


Рис. 5. Траектория точки на ЗИО при наличии угла θ

Литература.

1. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксёнов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. – 192 с.
2. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. Формирование требований к энергосиловой установке геохода // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal). Современные технологии на горнодобывающих предприятиях / М.: издательство «Горная книга» – 2012. – ОВ № 7. С. 263-267.
3. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н. Разработка схемных решений исполнительных органов геоходов//Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 3. С. 73-76.
4. Опыт применения устройств противовращения в геоходах / Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Резанова Е.В. // Вестник КузГТУ 2012. №2. С. 19-24
5. Формирование требований к основным системам геохода/ Бегляков В.Ю., Аксёнов В.В., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю // Горный информационно-аналитический бюллетень. Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования / Москва, МГУ, 2009 – ОВ №10. С. 107-118
6. Ермаков А.Н., Аксёнов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А. Обоснование требований к исполнительным органам формирования законтурных каналов геохода// Вестн. КузГТУ. 2014. № 2. С. 5-7.
7. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 824 с.

МЕТОД ИНТЕРВАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

С.П. Пестов, к.т.н., доц.

Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ), в г. Златоусте
456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Тургенева, 16, тел. (3513)-665-328,
E-mail: psp@zb-susu.ru

Одними из важнейших показателей машин и оборудования являются показатели их точности. На современном этапе развития машиностроительного производства тенденции непрерывного повышения точности обуславливают необходимость в предложении новых методов моделирования и расчета точности машин и технологического оборудования.

Метод численно-аналитического расчета точности машин, разработанный Базровым Б.М. [1] и получивший название «метод координатных систем с деформирующими связями», является одним из универсальных методов моделирования. В работе [2] предложен интервальный подход к моделированию точности настройки станков. Рассмотрим применение этого интервального подхода к моделированию точности машин и оборудования на примере токарного станка.

Для моделирования, в соответствии с рекомендациями [1], объединим узлы в следующие группы: патрон - шпиндель - передняя бабка; резец - суппорт - поперечные и продольные салазки. Тогда размерная цепь будет содержать четыре приведенных звена, отражающие размерные связи между заготовкой, шпиндельной, суппортной группами и станиной. Далее получим эквивалентную схему токарного станка с приведенными звеньями. В ней за неподвижную систему принята система Σ_C , построенная на направляющих станины, а на технологических базах заготовки построена координатная система Σ_3 , а $\Sigma_{III}, \Sigma_{II}$ построены соответственно на основных базах шпинделя и инструмента. Система Σ_{III} имеет вращательное движение (ω), а система Σ_{II} - поступательное (\bar{S}). На основе эквивалентной схемы технологической системы выводят уравнения относительного движения режущих кромок и технологических баз заготовки.

Для определения погрешности обработки ΔR_i в i -й точке полученной поверхности обработанной детали, следует решить уравнение относительного движения режущих кромок инструмента и технологических баз. Согласно эквивалентной схеме, уравнение движения точки М вершины режущего инструмента в системе Σ_3 в интервальной форме будет иметь вид:

$$\begin{cases} [\underline{x}_3, \bar{x}_3] = f_1([\underline{x}_{II}, \bar{x}_{II}], [\underline{y}_{II}, \bar{y}_{II}], [\underline{z}_{II}, \bar{z}_{II}], t) \\ [\underline{y}_3, \bar{y}_3] = f_2([\underline{x}_{II}, \bar{x}_{II}], [\underline{y}_{II}, \bar{y}_{II}], [\underline{z}_{II}, \bar{z}_{II}], t) \\ [\underline{z}_3, \bar{z}_3] = f_3([\underline{x}_{II}, \bar{x}_{II}], [\underline{y}_{II}, \bar{y}_{II}], [\underline{z}_{II}, \bar{z}_{II}], t) \end{cases} \quad (1)$$

где $[\underline{x}_3, \bar{x}_3], [\underline{y}_3, \bar{y}_3], [\underline{z}_3, \bar{z}_3]$ – координаты в интервальном виде точки М в координатной системе Σ_3 заготовки; $[\underline{x}_{II}, \bar{x}_{II}], [\underline{y}_{II}, \bar{y}_{II}], [\underline{z}_{II}, \bar{z}_{II}]$ – координаты в интервальном виде точки М в координатной системе Σ_{II} резца; t - параметр движения (время, угол поворота и др.).

Чтобы уравнение движения (1) отражало перемещения и повороты координатных систем $\Sigma_3, \Sigma_{III}, \Sigma_{II}$ эквивалентной схемы в неподвижной системе Σ_C , следует в его правую часть включить характеристики, определяющие положение каждой координатной системы.

Известно, что положение твердого тела в пространстве относительно неподвижной системы координат Σ может быть определено с помощью шести параметров: трех угловых и трех линейных координат системы координат Σ' , жестко связанной с этим телом. Таким образом, положение детали в системе координат Σ может быть определено с помощью радиус-вектора \bar{r} и матрицы углов поворотов:

$$\bar{r}_0 = \begin{bmatrix} [\bar{x}_0, \bar{x}_0] \\ [\bar{y}_0, \bar{y}_0] \\ [\bar{z}_0, \bar{z}_0] \end{bmatrix}; M = M_{([\bar{x}, \bar{x}], [\bar{\varphi}, \bar{\varphi}])} \cdot M_{([\bar{y}, \bar{y}], [\bar{\psi}, \bar{\psi}])} \cdot M_{([\bar{z}, \bar{z}], [\bar{\theta}, \bar{\theta}])}, \quad (2)$$

где $[\bar{x}_0, \bar{x}_0]$, $[\bar{y}_0, \bar{y}_0]$, $[\bar{z}_0, \bar{z}_0]$ - координаты в интервальном виде начала системы координат Σ' в системе Σ ; $M_{([\bar{x}, \bar{x}], [\bar{\varphi}, \bar{\varphi}])}$, $M_{([\bar{y}, \bar{y}], [\bar{\psi}, \bar{\psi}])}$, $M_{([\bar{z}, \bar{z}], [\bar{\theta}, \bar{\theta}])}$ - матрицы поворотов против часовой стрелки системы координат Σ' соответственно на угол φ вокруг оси $O'X'$, на угол ψ вокруг оси $O'Y'$ и на угол θ вокруг оси $O'Z'$. Указанные углы также задаются в интервальном виде.

Введем в правую часть уравнения движения (1) параметры, определяющие положения каждой координатной системы эквивалентной схемы. Это выполняется с помощью формул перехода из одной системы координат в другую.

В совокупности координатных систем эквивалентной схемы, где $\Sigma_3 = \Sigma_1$, $\Sigma_{III} = \Sigma_2$, $\Sigma_C = \Sigma_3$ и $\Sigma_{II} = \Sigma_4$ за неподвижную систему координат примем Σ_3 (рис. 1). Соединив начала координатных систем радиус-векторами, можно записать два векторных равенства:

$$\bar{R} = \bar{r}_{02} + \bar{r}_{01} + \bar{r}; \quad (3)$$

$$\bar{R} = \bar{r}_{04} + \bar{r}_M \quad (4)$$

Приравняв правые части равенств (3) и (4), получим уравнение радиус-вектора \bar{r} , определяющее положение точки М в системе Σ_1 :

$$\bar{r} = \bar{r}_{04} + \bar{r}_M - \bar{r}_{02} - \bar{r}_{01}; \quad (5)$$

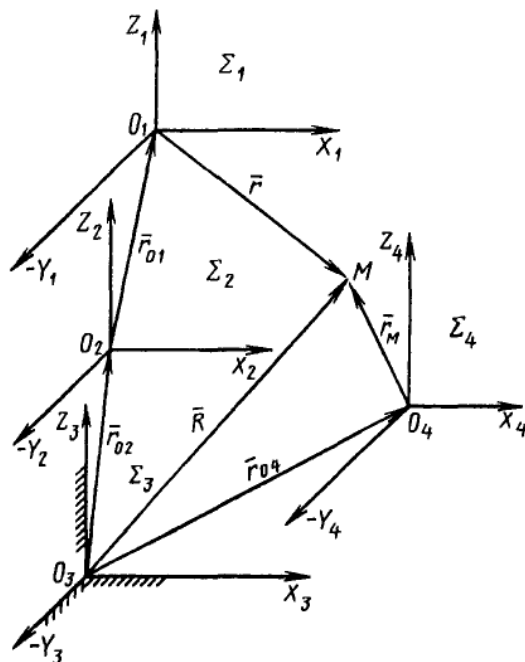


Рис. 1. Схема векторных связей координатных систем эквивалентной схемы

Пользуясь формулами перехода из одной координатной системы в другую, найдем последовательно положение точки М в координатных системах $\Sigma_3, \Sigma_2, \Sigma_1$.

Запишем типовые матрицы поворота системы Σ' вокруг осей.

Поворот Σ' вокруг оси ОХ:

$$M_{(\bar{x}, \bar{y}), [\underline{\varphi}, \bar{\varphi}]} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}] & -\sin[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}] \\ 0 & \sin[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}] & \cos[\underline{\varphi}, \bar{\varphi}] \end{vmatrix} \quad (6)$$

Поворот Σ' вокруг оси ОУ:

$$M_{(\bar{y}, \bar{z}), [\underline{\psi}, \bar{\psi}]} = \begin{vmatrix} \cos[\underline{\psi}, \bar{\psi}] & 0 & -\sin[\underline{\psi}, \bar{\psi}] \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin[\underline{\psi}, \bar{\psi}] & 0 & \cos[\underline{\psi}, \bar{\psi}] \end{vmatrix} \quad (7)$$

Поворот Σ' вокруг оси ОZ:

$$M_{(\bar{z}, \bar{x}), [\underline{\theta}, \bar{\theta}]} = \begin{vmatrix} \cos[\underline{\theta}, \bar{\theta}] & -\sin[\underline{\theta}, \bar{\theta}] & 0 \\ \sin[\underline{\theta}, \bar{\theta}] & \cos[\underline{\theta}, \bar{\theta}] & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (8)$$

В общем случае, когда система Σ' повернута относительно системы Σ и их начала не совпадают, радиус-вектор точки М – определяющий ее положение в системе Σ , будет иметь следующее выражение:

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + M \bar{r}'; \quad (10)$$

где \bar{r}_0 – радиус-вектор, определяющий положение начала координат системы Σ' в системе Σ .

Пользуясь формулами перехода (6) – (10) из одной координатной системы в другую, запишем уравнение радиус-вектора \bar{r} , определяющего положение точки М в координатной системе Σ_1 эквивалентной схеме:

$$\bar{r} = M^{-1} \left[M_2^{-1} (M_4 \bar{r}_4 - \bar{r}_{04} - \bar{r}_{02}) - \bar{r}_{01} \right] \quad (11)$$

Уравнение (11) позволяет определить координаты точки получаемой поверхности детали. При этом значения допусков на звенья размерной цепи (радиус-векторы) следует задавать в интервальном виде как и углы с допусками относительного поворота координатных систем, построенных на основных узлах станка.

Применение предлагаемого интервального подхода позволит повысить достоверность и надежность процессов моделирования и оценки точности машин и технологического оборудования.

Литература.

1. Базров, Б.М. Расчет точности машин на ЭВМ / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
2. Пестов, С.П. Точность настройки станков с ЧПУ на обработку отверстий / С.П. Пестов, П.Г. Мазиин // СТИН. – 2006. - № 11. – С. 5-9.

МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ О КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

*А.П. Цеплит***, аспирант, ст. преподаватель, А.А. Григорьева*, к.т.н., доц.*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)64942

E-mail: antonina505@mail.ru

***Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева*

Введение

Проблема перехода России на инновационный путь развития сейчас является общепризнанной. Для сохранения конкурентоспособности на машиностроительном рынке, необходимы инновации и постоянное совершенствование технологий. В особенности это касается программных решений, которые играют важнейшую роль на каждом этапе жизненного цикла машиностроительной продукции – от формирования исходной концепции до вывода в промышленную эксплуатацию и

сопровождения. Поэтому в настоящее время актуальным является создание модельного аппарата и информационной среды для поддержки принятия стратегических решений об инновационном развитии предприятий, выпускающих наукоемкую машиностроительную технику. Характерной чертой процесса принятия решений о конкурентоспособности наукоемкой машиностроительной продукции является его непрерывность. В связи с этим это будет не одна, а система моделей, т.к. разные модели будут применяться для получения оценок конкурентоспособности на основных этапах жизненного цикла продукции.

В работе особое внимание уделено моделям оценки конкурентоспособности машиностроительной продукции на ранних стадиях жизненного цикла продукции: маркетинговые исследования, синтез идеи, НИОКР. При создании системы поддержки принятия решения о конкурентоспособности машиностроительной продукции возникают некоторые проблемы, которые разрешить традиционными методами сложно: не все цели управления могут быть выражены количественно; между рядом параметров, оказывающих влияние на процесс управления, не удастся установить точных количественных зависимостей. Следует отметить также, что практически всегда менеджеры и эксперты работают в условиях неполноты информации и ее неопределенности. Если отсутствие информации в полном объеме можно, хотя бы принципиально снять путем получения дополнительной информации каким либо из возможных способов: разведка, прошлый опыт, проведение экспериментов, то неопределенность, связанную с несогласованностью мнений экспертов можно в какой-то мере снять за счет методов теории нечетких множеств [1,2]. Поэтому для построения адекватных математических моделей оценки конкурентоспособности продукции помимо многокритериального подхода целесообразно использовать группу нечетких методов для взаимоисключения недостатков и возможности сравнивать полученные результаты, что повышает гибкость принятия решения в области исследуемой проблемы [3].

Модель прогнозирования потребительских предпочтений машиностроительной продукции на стадии маркетинговых исследований

Спрос на инновационную продукцию порождается потребностями (предпочтениями) и возможностями потребителей. Прогнозируя спрос, нельзя ориентировать производство продукции лишь на удовлетворение потребностей или предпочтений потребителей без учета реальной платежеспособности тех, для кого предназначается конкретная продукция, и тех факторов, которые влияют на поведение покупателей (цена, степень необходимости продукции, качество, престиж и т.д.). Однако, следует помнить, что спрос на продукцию определяет ее конкурентоспособность с позиции потребителя. В то же время конкурентоспособность продукции определяется ее технико-экономическими характеристиками, которым уделяет существенное внимание производитель. То есть возникает диалог между потребителем и производителем продукции, в ходе которого осуществляется прогнозирование предпочтений потребителей и выявляется их отношение к продукции с целью дальнейшего воздействия на спрос. Для оценки отношений потребителя к технико-экономическим характеристикам продукции и оптимизации диалога между потребителем и производителем наукоемкой продукции предлагается методика, которая включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Составляется перечень возможных потребительских требований-предпочтений (ПТ) к исследуемой продукции. Потребительские требования формулируются на языке потребителя.

Этап 2. Оценка значимости каждого требования, т.е. проставление рейтинговой оценки каждому требованию потребителя. Это достигается путем проведения экспертных опросов потенциальных потребителей. Трудоемкость этого этапа зависит от количества респондентов и числа выявленных требований.

Этап 3. Формирование комплекса технико-экономических характеристик (ТЭХ) продукции, по которому будет производиться оценка уровня конкурентоспособности продукции с одной стороны, а с другой – отношение потребителя к продукции. ТЭХ формулируются на профессиональном языке (языке производителя).

Этап 4. Строится матрица размерностью $M \cdot N$ (M – количество ТЭХ продукции, N – количество потребительских требований). Причем для удобства пользования потребительские требования обычно ранжируются в порядке убывания значимости.

Этап 5. Определение жесткости связи между ПТ и ТЭХ. Это самый трудоемкий этап методики. Во-первых, встает вопрос, какой вид регрессионной зависимости использовать. Анализ литературы по структурированию функций качества показал, что обычно используются линейные зависимости, так как они вполне подходят в качестве первого приближения. Мерой жесткости связи высту-

пает при этом статистический коэффициент корреляции. Во-вторых, необходимо выбрать относительную шкалу оценки жесткости связи. Очевидно, лучше всего использовать экспертные оценки для избежания рутинных расчетов. Выбор дискретных значений шкалы субъективен и определяется психологией эксперта. Однако, для того, чтобы использовать данные значения в качестве коэффициента корреляции, необходимо применить шкалу с интервалом значений от – 1 до 1. Негативная связь между показателями означает, что рост потребительского требования влечет за собой снижение значения ТЭХ продукции. Наоборот, положительная связь означает, что рост потребительского требования способствует увеличению значения ТЭХ продукции. Сама шкала и интерпретация ее значений приведены в табл.1.

Таблица 1

Шкала оценки жесткости связи между ПТ и ТЭХ

Значение шкалы	Качественная интерпретация
– 1	Очень высокая негативная связь
– 0,75	Достаточно высокая негативная связь
– 0,5	Средняя негативная связь
– 0,25	Умеренная негативная связь
0	Отсутствие связи
0,25	Умеренная положительная связь
0,5	Средняя положительная связь
0,75	Достаточно высокая положительная связь
1	Очень высокая положительная связь

Этап 6. Определение рейтинговых оценок ТЭХ продукции. На этом этапе записываются итоговые многофакторные регрессионные зависимости ТЭХ от ПТ следующего вида:

$$ТЭХ_1 = ПТ_1 \cdot k_{11} + ПТ_2 \cdot k_{12} + ПТ_3 \cdot k_{13} + \dots + ПТ_n \cdot k_{1n};$$

$$ТЭХ_2 = ПТ_1 \cdot k_{21} + ПТ_2 \cdot k_{22} + ПТ_3 \cdot k_{23} + \dots + ПТ_n \cdot k_{2n};$$

$$ТЭХ_3 = ПТ_1 \cdot k_{31} + ПТ_2 \cdot k_{32} + ПТ_3 \cdot k_{33} + \dots + ПТ_n \cdot k_{3n};$$

⋮

$$ТЭХ_m = ПТ_1 \cdot k_{m1} + ПТ_2 \cdot k_{m2} + ПТ_3 \cdot k_{m3} + \dots + ПТ_n \cdot k_{mn},$$

где ПТ_j – значение рейтинговой оценки j – го потребительского требования (величина значимости, определенная на основе статистической обработки опросных листов респондентов);

k_{mn} – экспертная оценка жесткости связи между ПТ и ТЭХ (коэффициент корреляции).

Полученные таким образом оценкам ТЭХ можно использовать в качестве рейтингов технико-экономических показателей продукции. То есть это ключевые индикаторы, позволяющие судить о том, каким характеристикам должен уделять первоочередное внимание производитель продукции при решении задачи максимального удовлетворения потребительских требований (предпочтений).

Этап 7. Определение интегральной оценки конкурентоспособности продукции. Ее можно представить как средневзвешенную из технико-экономических характеристик. Весами могут служить значимости характеристик по степени влияния на уровень конкурентоспособности продукции. Данные веса также можно определять экспертным путем.

Модель прогнозирования потребительских предпочтений позволяет достаточно корректно и достоверно рассчитать вероятный спрос, мотивацию поведения потребителей, их отношение к предлагаемой продукции.

Модель определения конкурентоспособности продукции на основе метода попарных сравнений

Специфика данной модели позволяет ее использовать на начальных стадиях жизненного цикла изделий. Сравнение альтернатив можно производить по показателю «значимость технического решения» или в целом по продукции [4, 5].

Пусть перед нами стоит следующая задача: для оценки конкурентоспособности семи видов очистных механизированных комплексов используется лингвистическая переменная β – «конкурентоспособность»

тоспособность» с множеством базовых значений $T = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$; базовое множество $X = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_7\}$, где K_i – модель механизированного комплекса. Исследуются очистные механизированные комплексы, выпускаемые Юргинским машиностроительным заводом, польскими производителями и их зарубежные аналоги: K_1 – ДБТ; K_2 – Джой; K_3 – Джой-1; K_4 – GLINIK (Польша); K_5 – KM138/2; K_6 – 3KM138; K_7 – K-500Ю (ЮМЗ). Терм «низкая» характеризуется нечеткой переменной (низкая, X, \tilde{C}).

Требуется построить функцию принадлежности μ_c нечеткого множества \tilde{C} , описывающего терм «низкая».

Функция принадлежности μ_c определяется по матрице попарных сравнений $M = \|m_{ij}\|$, элементы которой m_{ij} представляют собой некоторые оценки интенсивности принадлежности элементов $x_i \in X$ нечеткому множеству \tilde{C} по сравнению с элементами $x_j \in X$: $\mu_c(x_i) = 1 / \sum_{j=1}^n m_{ij}$.

После обработки экспертных оценок имеем нечеткое множество \tilde{C} «низкая конкурентоспособность»:

$\tilde{C} = \{(1/K-500Ю \text{ (ЮМЗ)}), (0,53/3KM138), (0,33/KM138/2), (0,19/Джой-1), (0,12/ GLINIK), (0,1/ДБТ), (0,07/Джой)\}$, т.е. 1 соответствует очистному механизированному комплексу с наименьшей конкурентоспособностью.

Модель рейтинговой оценки конкурентоспособности продукции на стадии НИОКР

Модель базируется на основе метода расчета степеней предпочтения с учетом порога предпочтительной конкурентоспособности [4,7]. В модели приняты следующие допущения: существование определенного уровня компетентности экспертов; характеристика продукции p признаками; варьирование степени важности признаков (критериев) при присвоении данной продукции рейтинга между экспертами; предпочтение одного вида продукции другому, если его признаки по своей степени важности более близки к оценке экспертов.

Предполагается, что $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество экспертов, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – множество признаков (критериев) продукции и $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ – множество видов продукции (альтернатив).

Алгоритм работы модели следующий:

- 1) ввод данных об альтернативах;
- 2) ввод сведений о признаках (критериях конкурентоспособности продукции);
- 3) формирование матрицы важности (весов) признаков экспертами;
- 4) формирование матрицы степеней совместимости видов продукции (альтернатив) с признаками;
- 5) расчет матрицы взвешенных степеней предпочтения продукции экспертами;
- 6) расчет порога предпочтительной конкурентоспособности продукции;
- 7) расчет и вывод рейтинговых оценок альтернатив.

Проведем апробацию рейтинговой модели на примере оценки конкурентоспособности шахтных крепей. Оценку производили десять экспертов (x_i). Оценивались следующие марки шахтных крепей (альтернатив): z_1 – 1УКП (Украина), z_2 – Тагор 13 / 29- 03 (Польша), z_3 – Фазос 12/25 (Польша), z_4 – М -138 /2 (ОАО «Юргинский машиностроительный завод»). Продукция оценивалась по следующим критериям: Y_1 – коэффициент актуальности решенной технической задачи (Аи); Y_2 – коэффициент соответствия решенной технической задачи программам важнейших работ научно-технического прогресса (Пр); Y_3 – коэффициент сложности технической задачи (Сз); Y_4 – коэффициент объема использования решенной технической задачи (Ои); Y_5 – коэффициент широты охвата охранными мероприятиями решенной технической задачи (Шо). Данные критерии входят в состав показателя «Значимость технического решения». Матрица нечеткого бинарного отношения R представлена в таблице 2.

Таблица 2

Матрица нечеткого бинарного отношения

Эксперты \ Веса	Аи	Пр	Сз	Ои	Шо
	У 1	У 2	У 3	У 4	У 5
X 1	0	1	0	0	1
X 2	0	0	1	0	1
X 3	0	0	0	1	0
X 4	1	1	1	1	1
X 5	0,8	0,4	0,5	0,9	0,7
X 6	0,7	0,3	0,4	0,8	0,2
X 7	0,5	0,8	0,8	0,2	0,3
X 8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
X 9	0,6	0,7	0,8	0,5	0,4
X 10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

В этой матрице элементы каждой строки выражают относительные степени важности признаков в принятии экспертом решения о присвоении рейтинговой оценки.

Затем эксперты оценивают степень принадлежности или совместимость продукции z с признаком (критерием)у. В матричной форме (S)это представлено в таблице 3.

Таблица 3

Степень совместимости продукции с критериями

Инновации \ Признаки		Z 1	Z 2	Z 3	Z 4
Аи	У 1	0,9	0,1	0,5	0,7
Пр	У 2	0,5	0,9	0,6	0,6
Сз	У 3	0,4	0,9	0,5	0,4
Ои	У 4	0,8	0,1	0,5	0,6
Шо	У 5	0,1	0,1	0,1	0,1

На основе расчета функции принадлежности [7], получаем матрицу взвешенных степеней предпочтения продукции экспертами (Т), табл.4.

Таблица 4

Матрица взвешенных степеней предпочтения продукции

Инновации \ Эксперты	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4
	X 1	0,22	0,476	0,318
X 2	0,185	0,476	0,273	0,208
X 3	0,296	0,048	0,227	0,250
X 4	1,0	1,0	1,0	1,0
X 5	0,707	0,5	0,641	0,671
X 6	0,593	0,381	0,523	0,554
X 7	0,504	0,733	0,597	0,517
X 8	0,5	0,5	0,5	0,5
X 9	0,61	0,714	0,641	0,625
X 10	0,1	0,1	0,1	0,1

Наконец, из матрицы Т получаем матрицу выпуклых пересечений степеней предпочтения продукции экспертами W, табл. 5.

Таблица 5

Матрица выпуклых пересечений степеней предпочтения продукции экспертами

0,22	0,22	0,22	0,318	0,292	0,292
0,185	0,185	0,185	0,273	0,208	0,208
0,048	0,227	0,250	0,048	0,048	0,227
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,5	0,64	0,671	0,5	0,5	0,64
0,381	0,532	0,554	0,381	0,381	0,523
0,504	0,504	0,504	0,579	0,517	0,517
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,61	0,61	0,61	0,641	0,625	0,625
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

На основе матрицы W и условия:

$$w < \min_{ij} \max_x \min [\mu_{A_i}(x, z_i), \mu_{A_j}(x, z_j)]$$

рассчитаем порог предпочтительной конкурентоспособности альтернативы w [7]. В нашем случае $w = 0,61$. Применяя 0,61 в качестве порога различия, определим следующие совокупности экспертных оценок для продукции: $P_1 = \{x_5, x_9\}$; $P_2 = \{x_7, x_9\}$; $P_3 = \{x_5, x_9\}$; $P_4 = \{x_5, x_9\}$.

Рассчитаем рейтинг продукции: $Rcp(z_1) = (0,707 + 0,61)/10 = 0,132$;

$Rcp(z_2) = 0,145$; $Rcp(z_3) = 0,128$; $Rcp(z_4) = 0,130$.

Данную модель можно применить на всех этапах жизненного цикла продукции, меняя систему критериев. На этапе производства, реализации, эксплуатации используются следующие критерии: «значимость технического решения» (Зтр), финансовый приоритет от выпуска продукции (ФП), критерии эффективности производства (ЭП) и сбыта продукции (ЭС). Можно вместо критерия «значимость технического решения» (Зтр) использовать признак инновационной продукции NPV – чистая текущая стоимость.

Выявлено, что конкурентоспособность продукции на разных сегментах потребительского рынка является различной. Следовательно, производитель должен вначале осуществить правильную сегментацию потребительского рынка, а затем уже рассчитывать рейтинг продукции.

Заключение

В работе предложены модели оценки конкурентоспособности машиностроительной продукции, позволяющие принять рациональное управленческое решение о производстве инновационной наукоемкой продукции в условиях недостаточности и неопределенности информации.

Модель прогнозирования потребительских предпочтений позволяет достаточно корректно и достоверно рассчитать вероятный спрос, мотивацию поведения потребителей, их отношение к предлагаемой продукции.

Модель определения конкурентоспособности машиностроительной продукции на базе метода попарных сравнений дает возможность менеджерам получить нечеткие множества альтернатив различной степени конкурентоспособности на ранних стадиях исследования. В качестве критериев выступают технические характеристики продукции.

Рейтинговая модель оценки приоритетов машиностроительной продукции позволит обеспечить рациональный выбор альтернатив в условиях группового выбора как на этапах синтеза идеи, ее разработки прогрессивным предпринимателем, когда информация о критериях и показателях оценки альтернативы по своей природе не определена или недоступна, так и на этапах производства продукции и ее продвижения на рынок, когда потенциальный производитель имеет возможность влиять на уровни и значения конкретных оценок эффективности и стоимости альтернатив. Все это даст возможность избирательного частичного финансирования производств конкретных видов продукции на основе принятой системы критериев.

Литература.

1. Zakharova A., Telipenko E. Information system of bankruptcy risk management of an enterprise. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, – 2012.
2. Zakharova, A.A. Fuzzy swot analysis for selection of bankruptcy risk factors. Applied Mechanics and Materials Volume 379, 2013, Pages 207-213.

3. Grigoreva A. A. Information System Of Innovative Products Competitiveness Determining // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - Vol. 1 - p. 691-694
4. Григорьева А.А., Тациян Г.О., Григорьева А.П. (Цеплит А.П.) Автоматизированный мониторинг конкурентоспособности инновационной машиностроительной продукции: монография – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 231с.
5. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука., 1990. - 272 с.
6. Осипов Ю.М. Показатель «значимость технического решения» имитационной модели АСУ конкурентоспособностью продукции // Автоматизация и современные технологии. - М., 1994. № 3. С.33-35.
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ./ Под. ред. Р.Р. Ягера.–М.: Радио и связь, 1986.–С.339-347.

РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДА НЕЛИНЕЙНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

О.Н. Инденко, к.т.н., доцент

Кемеровский государственный университет

650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842) 58-38-85

E-mail: yurich_70@mail.ru

Исследование динамики нелинейных систем составляет самостоятельное направление в теории автоматического управления. В этой области разработаны методы определения параметров автоколебаний, сформулированы критерии устойчивости, предложены различные схемы коррекции нелинейных систем, а также развиты методы оптимального управления [1, 2, 4].

Нелинейные системы значительно разнообразнее и сложнее, чем линейные, и, естественно, они содержат в себе линейные системы как частный, довольно узкий подкласс. При исследовании реальных систем, зачастую обращаются к линейной теории как более простой и разработанной. И когда нелинейность играет существенную роль в поведении системы, прибегают к теории нелинейных систем.

При изучении нелинейных автоматических систем необходимо учитывать особенности, несвойственные линейной постановке и являющиеся следствием неотъемлемых физических свойств: сухого трения и зазоров в кинематике, насыщения в связи с ограничениями изменения массы, величины передаваемой энергии и т.д. А так же нелинейные элементы преднамеренно вводят для получения требуемых показателей качества системы автоматического управления (САУ) [1]. Нелинейность становится все более важной для практики по мере повышения требований к качеству процессов и к точности расчета систем автоматического управления и регулирования.

В САУ различают два вида нелинейностей: статические и динамические. Выходная переменная статических нелинейных звеньев в каждый момент времени зависит только от значений входной переменной и не зависит от того, как входная переменная изменялась до рассматриваемого момента времени. В наиболее распространенных случаях нелинейные свойства системы в основном определяются наличием статических характеристик [2, 4], поэтому актуальной задачей является изучение распознавания вида статической нелинейности динамического объекта по результатам дискретных наблюдений его вход-выходных сигналов.

Объект называется нелинейным, если он не удовлетворяет принципу суперпозиции или если зависимость его выходного сигнала от входного не может быть описана линейным уравнением [1]. Структура и уравнение нелинейной системы могут быть очень сложными в зависимости от количества, вида и места включения нелинейных элементов. Однако, большинство реальных систем содержит один существенно нелинейный элемент (рис.1.).

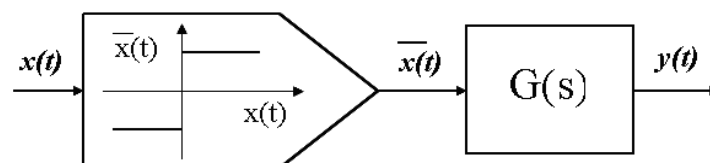


Рис. 1. Структурная схема нелинейной системы

В данной структурной схеме отражены:

$x(t)$ – входной сигнал (воздействие);

\bar{x} – типовая нелинейная характеристика;

$G(s)$ – передаточная функция линейной части динамического объекта;

$y(t)$ – выходной сигнал нелинейной системы.

Традиционно группируют характеристики типовых нелинейных элементов по классам [2, 4]:

- релейные элементы;
- нелинейные элементы с произвольными кусочно-линейными характеристиками;
- нелинейные элементы со степенными характеристиками;
- нелинейные элементы с характеристиками типа сухого трения.

Релейные элементы являются наиболее распространенным типом нелинейных элементов. В автоматике издавна применяются переключательные (пороговые) элементы. Их функциональное назначение – изменять скачком выходную величину в момент, когда входная переходит (убывая или возрастаая) некоторый порог.

Релейная характеристика с зоной нечувствительности имеет место в стабилизаторах, двигателях. Простейшей механической моделью является система соединения двух валов с пружинным возвратом ведомого вала в нейтральное положение при наличии участка свободного хода в системе передачи [4].

Алгоритм распознавания типа нелинейных характеристик основан на моделировании линейной части объекта непрерывными дробями [3, 5], и построении и анализе переходных кривых для описания вида нелинейности. Так как нелинейность невозможно восстановить с помощью одной реализации, то входной сигнал возьмем в виде ступенчатой функции $x(t) = \alpha \times 1(t)$, где α – const. Варьируя значением коэффициента α , получим комплекс реализаций, с помощью которых проводим структурно-параметрическую идентификацию объекта. Для восстановления линейной части объекта используется модифицированный метод В. Висковатова [3].

Реализация алгоритма поэтапно включает блок изменения амплитуды входного сигнала на исследуемый объект, сбор измерительной информации о его функционировании, с последующим восстановлением дискретной и непрерывной математических моделей идентифицируемого объекта, накопление оценок параметров нелинейной характеристики изменяя амплитуду входного сигнала и распознавание типа нелинейности.

Анализируя вид переходной кривой, получаем, что принцип суперпозиции не выполняется, следовательно, в идентифицируемом объекте присутствует нелинейное звено. В частности, если при различных значениях амплитуды α подаваемого сигнала выходной сигнал $y(t)$ выходит на постоянные значения, причем с ярко выраженной полярностью, то линейная часть имеет вид идеальной релейной характеристики. Если при этом существует отрезок, на котором различным значениям $x(t)$, соответствует $y(t) = 0$, то есть объект не реагирует на входной сигнал, мы наблюдаем на этом интервале зону нечувствительности.

В ходе модельных исследований оценки параметров нелинейной характеристики были получены при вариациях амплитуды α в указанном диапазоне, в каждом случае вид выходной переменной объекта соответствовал переходной кривой апериодического звена 1-го порядка. Поведение выходного сигнала $y(t)$ отражено в табл. 1.

Таблица 1

α	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
\bar{x}	-1	-1	-1	0	0	1	1	1
y	$-y^*$	$-y^*$	$-y^*$	0	0	y^*	y^*	y^*

Из табл. 1 следует, что при $\alpha = -4; -3; -2; 2; 3; 4$ реакция объекта остается постоянной (сохраняет полярность), а при $\alpha = -1; 0; 1$ объект не реагирует на входное воздействие, наблюдается зона нечувствительности. Значит, объект не удовлетворяет принципу суперпозиции, присутствует нелинейное звено, которое имеет вид идеальной релейной характеристики с зоной нечувствительности.

Таким образом, при рассмотрении реальных систем неизбежно сталкиваются с необходимостью учета широкого спектра нелинейностей. Особенности поведения нелинейных систем и многообразия протекающих в них процессов создают трудности при их математическом описании и исследовании.

В работе показаны возможности распознавания вида нелинейной статической характеристики непрерывного объекта на основе анализа дискретной измерительной информации о его функционировании и моделирования линейной части объекта непрерывными дробями. Предложенный алгоритм распознавания вида статической нелинейности динамического объекта удобно использовать при создании программного обеспечения с помощью современных вычислительных средств.

Литература.

1. Андрущенко В. А. Теория системы автоматического управления. – Л.: Издательство ЛГУ, 1990.
2. Гельднер К., Кубик С. Нелинейные системы управления. М.: Мир, 1987.
3. Карташов В. Я. Непрерывные дроби (определения и свойства). Учебное пособие. Кемерово, 2008.
4. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988.
5. Карташов В. Я., Инденко О. Н. Способ идентификации нелинейного объекта. Патент РФ №2233480, 7 G 06 N 1/00.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКЦИИ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ СОПУТСТВУЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Н.В. Панова, к.т.н.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН

630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54

E-mail: nadejda_panova@bk.ru

В ИГД СО РАН разработаны методы проектирования аэродинамических схем со двояными листовыми лопатками рабочего колеса (РК) по безразмерным характеристикам путем задания расчетных режимов на поле требуемых параметров проветривания. На этой базе разработан ряд осевых вентиляторов, с повышенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с вентиляторами ВОД [1]. Для данного ряда вентиляторов со значениями диаметра рабочего колеса 3000 мм (750 об/мин); 3600 мм (600 об/мин); 4300 (500 об/мин) и 5000 мм (375 об/мин) окружная скорость вращения по концам лопаток не превышает 120 м/с. За рубежом аналогичные машины проектируют на окружные скорости вращения до 172 м/с и более, что необходимо для достижения требуемых вентиляционных параметров. Рассматриваемый ряд осевых вентиляторов может обеспечить показатели по давлению и производительности на уровне и выше зарубежных аналогов при повышении частот вращения ротора на одну ступень по стандартным частотам двигателя, что не выйдет за пределы окружных скоростей вращения по концам лопаток в 160 м/с.

При увеличении окружных скоростей вращения наблюдается рост нагрузок, действующих на лопатки, корпус РК и ротор вентилятора в целом. Поэтому одной из главных задач при проектировании является исследование напряженно-деформированного состояния и собственных частот колебаний основных узлов высоконагруженных роторов шахтных осевых вентиляторов. Поэтому исследования направленные на обоснование параметров высоконагруженных роторов шахтных осевых вентиляторов при высоких окружных скоростях вращения являются актуальными.

Выполненные в ИГД СО РАН аэродинамические исследования осевых вентиляторов, установили, что значительное повышение размера поля возможных режимов в координатах «давление-производительность» и увеличение адаптивности возможно путем создания осевых вентиляторов с заменяемыми двояными листовыми (не телесными) лопатками рабочего колеса (РК).

Для увеличения адаптивности и упрощения процедуры замены лопаток выполненных по разным аэродинамическим схемам, были внесены изменения в конструкцию, при этом крепление съемной части к базовой (рис. 1) осуществляется с использованием болтового соединения.

На лопаточный узел действуют силы тяжести, центробежные и аэродинамические силы [2, 3]. Центробежная сила создает растягивающую и поперечную нагрузку, а также крутящий момент. Аэродинамические силы создают поперечную нагрузку, крутящий и изгибающий момент. Расчет лопаток производился при их установке на угол в 45°, так как в этом случае наблюдаются максимальные нагрузки.

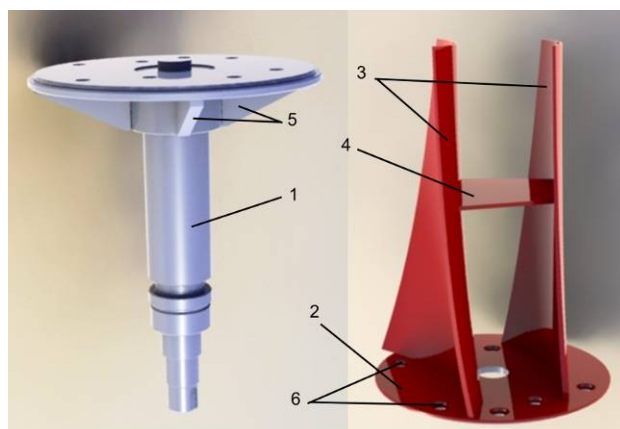


Рис. 1. Адаптивный лопаточный узел: 1 – базовая часть (поворотное основание с хвостовиком лопатки); 2 – съемная часть; 3 – лопатки, 4 – перемычка, 5 – ребра жесткости, 6 – отверстия под болтовые соединения

Надежность лопаточных узлов и корпусов рабочих колес обеспечивается запасом статической прочности в пределах заданного ресурса, и предотвращением резонансных явлений, обусловленных частотой вращения ротора и не стационарностью внешних воздействий, в качестве которых рассматриваются колебания из вентиляционной сети и т.п.

Одной из задач является обеспечение допустимого уровня напряжений с учетом предельных прочностных характеристик используемых материалов и принятых коэффициентов запаса прочности, второй – осуществление безопасной отстройки частот собственных колебаний от частот возбуждающих сил с целью предотвращения опасных динамических напряжений из-за возможного резонанса.

При проведении статического анализа использовался критерий текучести Мизеса позволяющий поставить в соответствие сложному напряженному состоянию эквивалентное ему по некоторой величине простое напряженное состояние.

Учитывая геометрическую сложность, характер закрепления и нагружения лопаточного узла и корпуса рабочего колеса, для исследований использовался метод конечных элементов, реализованный в лицензионном программном пакете ANSYS.

По результатам, полученным в ходе исследования и путем введения поправочного коэффициента k_1 и k_2 , разработаны параметрические модели лопаточного узла с высоким уровнем адаптации и корпуса рабочего колеса для ряда исследуемых машин (рис. 2, 3). Модели позволяют проектировать лопаточный узел для любого типоразмера вентилятора с диаметром рабочего колеса в пределах от 3000 до 5000 мм при окружных скоростях вращения по концам лопаток до 160 м/с. При проектировании необходимо задать диаметр D рабочего колеса и частоту вращения ротора n [4].

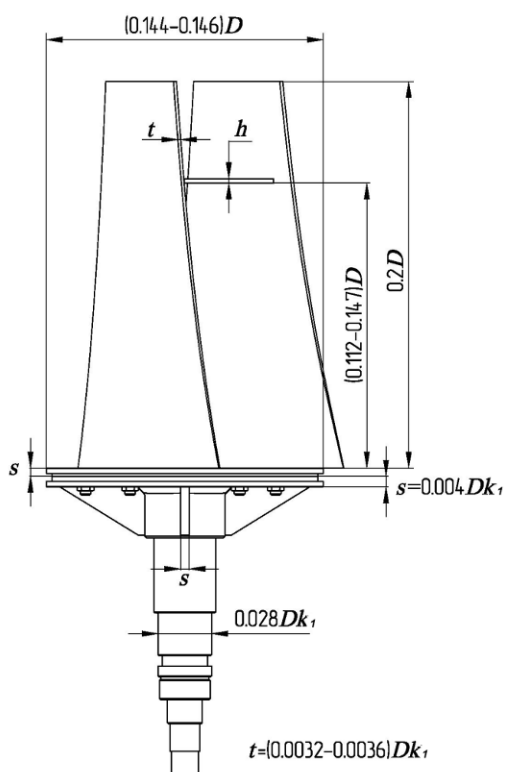


Рис. 2. Параметрическая модель лопаточного узла: s , t , h – толщины отдельных элементов конструкции лопаточного узла; D – диаметр РК; k_1 – поправочный коэффициент; h – толщина перемычки, равная толщине лопасти в сечении, где установлена перемычка; диаметр хвостовика в месте крепления радиально – упорного шарикоподшипника округляется в большую сторону до существующего типоразмера

Поправочные коэффициенты k_1 и k_2 определены по результатам численных экспериментов ряда исследуемых машин, исходя из условий прочности и необходимой отстройки от резонанса в лопаточном узле и корпуса рабочего колеса, и определяется выражениями:

$$k_1 = (\alpha Dn)^2, \quad k_2 = \beta Dn,$$

где n – частота вращения ротора вентилятора, об/мин; D – диаметр РК, мм; $\alpha = 4 \cdot 10^{-7}$ мин/об·мм, $\beta = 3,3 \cdot 10^{-7}$ мин/(об мм).

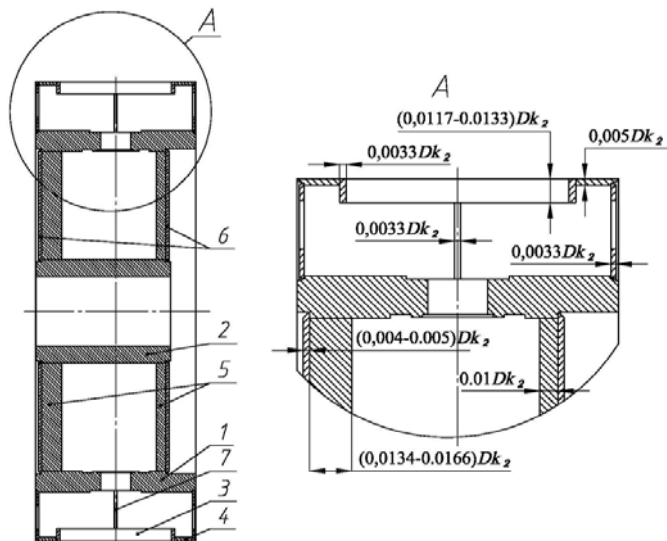


Рис. 3. Параметрическая модель корпуса рабочего колеса: 1 – силовой пояс; 2 – ступица; 3 – гильза, 4 – обечайка; 5 – ребра жесткости; 6 – опорные диски; 7 – плоская сегментная стяжка; D – диаметр рабочего колеса; k_2 – поправочный коэффициент

По созданным параметрическим моделям разработаны лопаточные узлы и корпуса рабочих колес вентиляторов с диаметром РК 3000, 3600, 4300, 5000 мм и с частотой вращения соответственно 1000, 750, 600, 500 об/мин. Проведены исследования данных узлов на собственные частоты колебаний и НДС. Исследования показали, что сконструированные адаптивные лопаточные узлы со съемной верхней частью и корпуса рабочих колес удовлетворяют условиям прочности и необходимой отстройки от резонанса.

В ходе исследования также были рассмотрены три схемы компоновки ротора: схема 1 – традиционная схема компоновки с трансмиссионным валом (рис. 4); схема 2 – без трансмиссионного вала, рабочее колесо устанавливается максимально близко к радиально-упорной подшипниковой опоре (используется в вентиляторах ВО-21К и ВО-24К); схема 3 – без трансмиссионного вала, рабочее колесо и механизм поворота лопаток меняются местами.

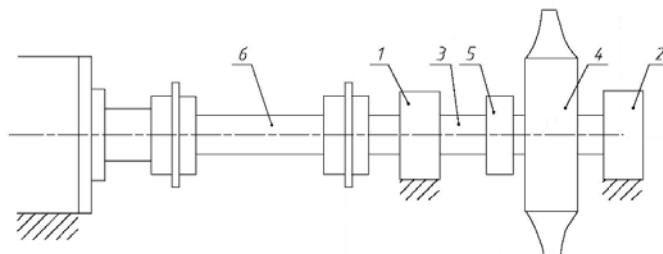


Рис. 4. Компоновка ротора по схеме 1 с трансмиссионным валом: 1 – радиальная подшипниковая опора; 2 – радиально-упорная подшипниковая опора; 3 – коренной вал ротора; 4 – рабочее колесо; 5 – исполнительный механизм поворота лопаток РК; 6 – трансмиссионный вал

Исследования проводились с использованием аналитических методов. Составлена универсальная программа, позволяющая проектировать коренные валы с различными конструктивными

параметрами и материалом изготовления. Программа выдает значения деформаций, максимальных напряжений, первой собственной частоты колебаний коренного вала и еще ряд величин.

Кроме этого для сравнения целесообразности применения одной из схем компоновки было рассмотрено влияние гироскопического момента на собственные частоты колебаний ротора. При учете гироскопического момента высоконагруженных роторов осевых вентиляторов с расположением рабочего колеса на расстоянии не более 900 мм от радиально-упорной подшипниковой опоры и компоновке ротора без трансмиссионного вала собственные частоты колебаний ротора повышаются на 35%, а при компоновке ротора с трансмиссионным валом в два раза.

В результате ряда проведенных исследований была определена рациональная схема компоновки высоконагруженных роторов осевых вентиляторов – традиционная схема с трансмиссионным валом.

На подшипниковые опоры ротора действуют радиальные нагрузки, вызванные массовыми характеристиками ротора и осевые нагрузки, вызванные аэродинамическими силами и действием механизма поворота лопаток рабочего колеса. При повышении окружных скоростей вращения по концам лопаток до 160 м/с значительно увеличиваются осевые нагрузки на радиально-упорную подшипниковую опору при регулировании и реверсировании режима работы вентилятора. При этом радиально-упорные подшипники, могут не удовлетворять требованиям необходимой долговечности и не проходить по грузоподъемности, вследствие чего необходим регламент по регулированию и реверсированию вентиляторов главного проветривания.

Согласно РД-03-427-01 ГОСГОРТЕХНАДЗОРa требуемый нормативный срок службы для вентиляторных установок главного проветривания с диаметром рабочего колеса от 2500 до 3150 мм составляет 25 лет, для вентиляторных установок с диаметром рабочего колеса более 3150 мм – 30 лет.

В результате ряда проведенных исследований было определено, что для обеспечения нормативного ресурса работы подшипниковых опор высоконагруженных осевых вентиляторов при высоких окружных скоростях вращения регулирование и реверсирование воздушного потока необходимо производить на выбеге вентилятора, когда частота вращения ротора уменьшится не менее чем в два раза.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований разработаны параметрические модели лопаточного узла с высоким уровнем адаптации и корпуса рабочего колеса для ряда исследуемых высоконагруженных машин, позволяющие проектировать рабочее колесо со сдвоенными листовыми лопатками для любого необходимого типоразмера вентилятора с диаметром от 3000 до 5000 мм с окружными скоростями до 160 м/с. Определена рациональная схема компоновки ротора и введены ограничения по его частоте вращения при регулировании и реверсировании воздушного потока. Все это позволяет значительно увеличить эксплуатационные характеристики и надежность осевых вентиляторов главного проветривания шахт.

Литература.

1. Петров Н.Н. Разработка научных основ и освоение производства нового ряда осевых вентиляторов / Н.Н. Петров, Н.А. Попов, Е.Ю. Русский // ФТПРПИ. – 2007 - № 3.
2. Красюк А.М. Динамика и прочность сдвоенных листовых лопаток осевых вентиляторов / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский // Горное оборудование и электромеханика, 2009 – № 7, с. 52 - 56.
3. Красюк А.М. К оценки прочности высоконагруженных рабочих колес крупных шахтных осевых вентиляторов / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский, Н.А. Попов // ФТПРПИ. – 2012 - № 2.
4. Петров Н.Н. Оценка прочности адаптивного лопаточного узла высоконагруженных шахтных осевых вентиляторов / Н.Н. Петров, Н.В. Панова // ФТПРПИ. – 2013. – №1. – С.127 – 137.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГЕОХОДА С НОЖЕВЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ

*В.Ю. Садовец, к.т.н., доц., В.Ю. Бегляков, к.т.н., доц., А.Б. Ефременков, к.т.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)-6-05-37
E-mail: vsadovec@yandex.ru*

При моделировании кинематики движения геолода по трассе выработки (координатных составляющих скорости), была определена полная группа уравнений колебаний корпуса геолода [1]. Представленный метод [2] позволяет заранее получить правила проведения и трактовки результатов вибродиагностики без поиска аналогий для оригинальной по конструкции машины.

Целью работы является: обоснование выбора динамической модели для описания траектории движения точек ножевого исполнительного органа геохода.

Для выбора конкретной динамической модели при проведении прочностных расчетов, следует рассмотреть возможные варианты отклонения траектории движения геохода от заданной. Они могут возникать на выходе привода геохода, содержащего дефекты [2].

Модели кинематики позволяют получить уравнения переносного движения инструмента, отстоящего на радиус R от оси выработки $X_{II}(t) = V_x(t)R$, $Y_{II}(t) = V_y(t)R$

Примеры вариантов динамических процессов, возникающих на оси вращения геохода и существенно различающихся между собой по типу переносных колебаний, представлены на рис. 1. Полный спектр вариантов динамических моделей представлен в работе [2]

Необходимо подчеркнуть, что: 1) модели формирования колебаний в приводе являются между собой линейно независимыми [3]; 2) на графиках видны очевидные амплитудные отличия; 3) по положению экстремумов отмечается разнообразие форм колебаний. Таким образом, обосновывается постановка задачи о необходимости перебора всех возможных вариантов состояний для получения надежных результатов расчетов [4].

Для моделирования относительных колебаний машины в плоскости, перпендикулярной к оси выработки, используем определение

$$X(t) = \int_0^t V_x(\vartheta) d\vartheta; \quad Y(t) = \int_0^t V_y(\vartheta) d\vartheta \quad (1)$$

Как и в работе [1], наиболее опасный вид движения возникает в случае состояния и модели №3. Уравнения колебаний по координатным осям

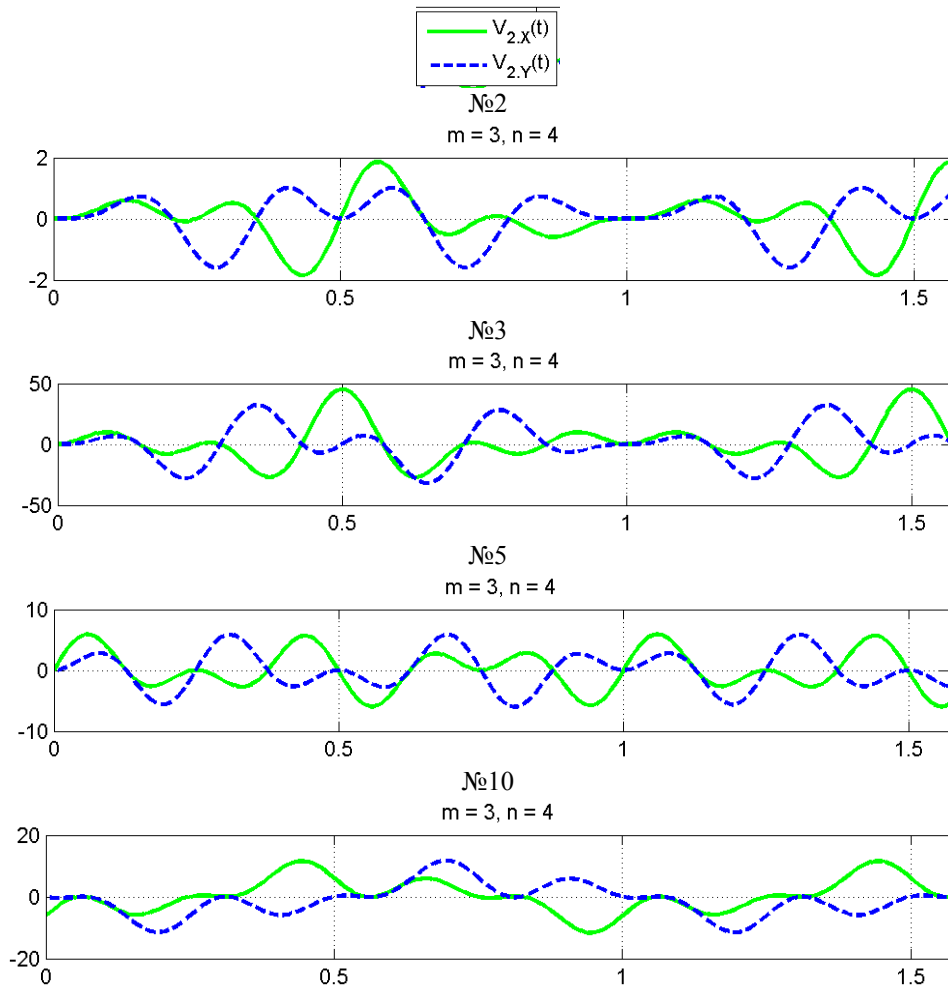


Рис. 1. Иллюстрации возможных типов переносных колебаний исполнительного органа геохода

В результате можно выделить наиболее опасные виды колебаний (рис.2), разнообразные как по амплитуде, так и по форме.

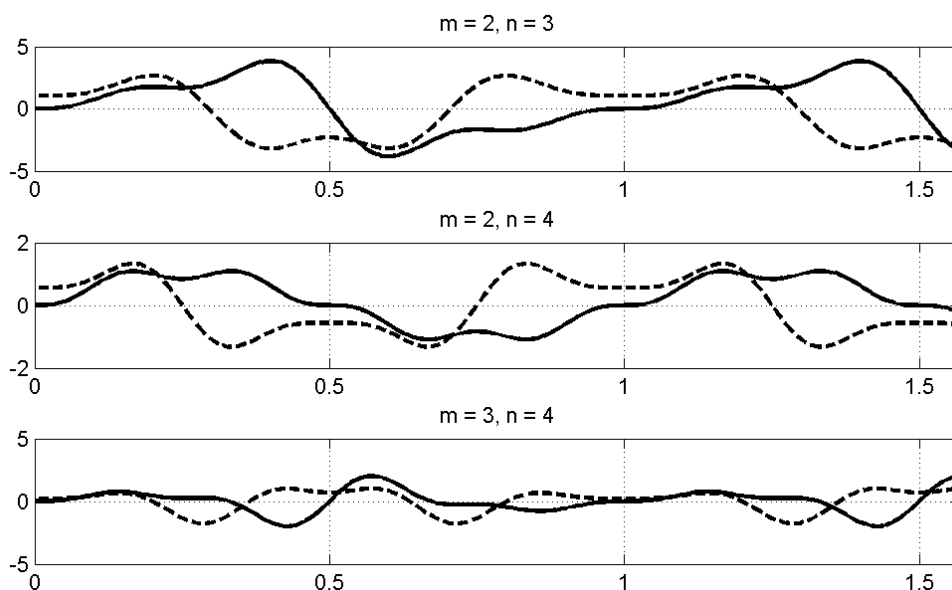


Рис. 2 Примеры наиболее опасных видов колебаний по модели №3

Если образовать из этих координатных составляющих соответствующую суперпозицию, то получаем модели траекторий (в виде годографов), по которым движется ось геохода относительно оси выработки (рис. 3) под действием силовых домкратов [5].

Главную особенность траекторий составляют особые точки, в которых имеют место разрывы производной dY/dX или, иначе, резкие изменения направления движения точек ножевого исполнительного органа. На практике проявляется угловая суперпозиция переносного и относительного движений, и при больших радиусах геохода особые точки годографа проявляются гораздо слабее [6].

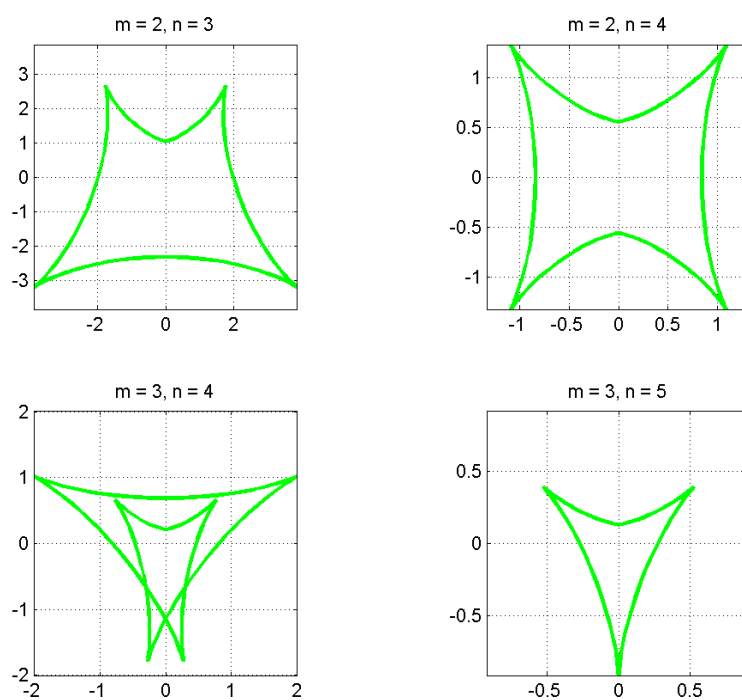


Рис. 3 Траектории оси машины при относительных колебаниях для модели №3 состояния привода

Геометрические неточности в установке и разброс характеристик домкратов поворота (особенно при их значительном числе) могут привести к тому, что почти ударные воздействия будут перераспределяться в широкой зоне работы ножа исполнительного органа, обеспечивая эффективное разрушение в отдельных, сосредоточенных зонах [7].

При возникновении динамических эффектов возникают пульсации на траектории движения геолода. Стоит отметить, пульсации на траектории возникают и без динамических эффектов.

В то же время возникающие пульсации могут привести к ухудшению работы ножей исполнительного органа и увеличению необходимых усилий резания, вследствие отклонения углов резания от номинального значения.

Для учета влияния погрешностей, вызванных приводом геолода, на силовые параметры резания введем определяемый коэффициент запаса [8].

Согласно методике расчета сил резания по опытным коэффициентам [9], каждому углу резания соответствует свой коэффициент φ_0 , учитывающий свойства разрушаемого горного массива и угол резания. При возникновении погрешности угол резания определится выражением $\delta_{oo} = \delta_0 + \Delta\beta$, и этому углу будет соответствовать свой коэффициент φ_{oo} , учитывающий влияния угла резания.

Тогда коэффициент, учитывающий влияние динамических погрешностей привода на силовые параметры ножевого исполнительного органа, назовем его коэффициентом запаса, будет равен

$$\xi = \frac{\varphi_{oo}}{\varphi_0} > 1.$$

Выводы.

Динамические эффекты, возникающие в приводе, вызывают изменение траектории движения геолода. Отклонение от заданной траектории приводит к изменению геометрических параметров резания, что безусловно влияет на силовые параметры резания. Влияние динамических эффектов в приводе геолода на силовые параметры исполнительного органа, учитывается коэффициентом запаса ξ .

Возникновение динамических эффектов в приводе геолода приводит не только к изменению траектории движения ножей, но и изменению геометрических параметров резания ножевым исполнительным органом, а, следовательно, и силовых параметров резания. Учет возникающих пульсаций представляется сложным и требует большого объема дополнительных исследований.

Литература.

1. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Моделирование кинематики геолода / Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 37-39.
2. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геолодов // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кемерово, 2007 с. 158
3. Aksekov V. V., Blashchuk M. Y., Dubrovsky M. V. Estimation of torque variation of geohod transmission with hydraulic drive // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 11-15
4. Логов А.Б., Замараев Р.Ю. Математические модели диагностики уникальных объектов / Новосибирск, – Издательство СО РАН, 1999. – 228 с.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Тимофеев В.Ю., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю. Формирование требований к основным системам геолодов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 107-118.
6. Aksekov V.V., Efremenkov A.B., Beglyakov V.Y. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a fase // Applied Mechanics and Materials. 2013. Т. 379. С. 16-19.
7. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов на силовые параметры исполнительного органа геолода / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. Т. 3. № 12. С. 164-178.
8. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геолодов // автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2007. с. 17
9. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. – Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ДИЛАТАНСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ**

*А.Ф. Ревуженко **, *д.т.н.*, *С.В. Клишин **, *д.т.н.*, *В.Ю. Бегляков ***, *к.т.н.*

**Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
630091, г. Россия, Новосибирск, Красный проспект, 54*

***Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: begljakov@rambler.ru*

В настоящее время метод дискретных элементов приобретает все большую популярность и используется для решения ряда задач геомеханики. Суть его состоит в том, что реальная среда заменяется некоторой упаковкой дискретных частиц, между которыми постулируются те или иные законы взаимодействия [1, 2]. Формы частиц также представляют собой свободный многомерный параметр, который должен быть выбран из дополнительных соображений. Этот метод является принципиальной альтернативой классическим методам, основанным на традиционных представлениях механики сплошных сред.

Как известно, преимущества метода дискретных элементов заключаются в следующем. В рамках данного метода не возникает дополнительных трудностей при решении задач с большими деформациями и поворотами. Кроме того, можно без принципиальных усложнений описывать локализацию сдвигов и физически нелинейные эффекты [3, 4]. При этом никаких данных о континуальных определяющих уравнениях среды не требуется.

Роль последнего обстоятельства неоднозначна. Фактически это обстоятельство означает следующее: решая задачу методом дискретных элементов, у нас нет полного представления о том, для какой, собственно, среды мы ее решаем. Это означает, что в вопросе о степени адекватности полученных результатов, также ясности может не быть.

Действительно, задать начальную упаковку частиц и законы взаимодействия между частицами — это совсем не то же самое, что задать определяющие уравнения деформирования среды. В определяющих уравнениях содержится информация о поведении элементарных объемов среды. В пределах элементарного объема распределение напряжений и деформаций можно считать постоянными, а распределение скоростей и перемещений — линейными по координатам (градиентные модели исключим.) Таким образом, располагая определяющими уравнениями, мы ясно представляем себе макросвойства среды, с которой имеем дело. Кроме того, в нашем распоряжении оказывается и весь арсенал средств, который выработан в континуальной механике за последние 200 лет. Он включает в себя средства для анализа типа уравнений, определения скоростей различных типов волн, теоремы о предельных нагрузках, критерии устойчивости и многое другое. Иными словами, еще до решения конкретной задачи, мы уже основные черты решения знаем заранее. Это существенно облегчает как поиск адекватных постановок задач, так и интерпретацию полученных решений.

При использовании метода дискретных таких возможностей уже нет. Поэтому возникает необходимость в «наведении моста» между двумя указанными выше подходами. Конечная цель «создания моста» состоит в том, чтобы соединить вместе преимущества метода дискретных элементов и методов механики сплошных сред.

В работе [1] это предлагается сделать следующим образом. Вначале задаются форма частиц, их грансостав и алгоритм формирования начальной упаковки частиц. Задаются также условия взаимодействия между частицами. Далее (до исследования основной задачи) предлагается решение серии вспомогательных задач. Цель решения данных задач состоит в том, чтобы понять, каким именно определяющим уравнениям соответствуют выбранные упаковки частиц и законы взаимодействия между ними. Поэтому вспомогательные задачи ставятся таким образом: выбирается подходящая область V , ограниченная поверхностью S . На поверхности S задаются скорости или смещения, линейные по координатам. Коэффициенты, которые фигурируют в линейных зависимостях, однозначно определяют деформации, скорости деформаций, повороты и скорости поворотов элементарного объема сплошной среды, если его отождествить с объемом V . Данные коэффициенты могут зависеть только от времени и не должны зависеть от координат. Смещения на границе S вызывают силы реакции между частицами, а также на самой границе S . Осредняя эти силы по соответствующим сечениям тела V , можно получить тензоры средних напряжений и их скоростей. В результате можно найти связь напряжений и деформаций для некоторой траектории нагружения. Такая связь относится уже к опре-

деляющим уравнениям среды. В вырожденном случае в уравнении могут содержаться либо только напряжения, либо только деформации, либо их скорости. В первом случае речь идет об условии предельного состояния среды, во втором — о её дилатансионных характеристиках.

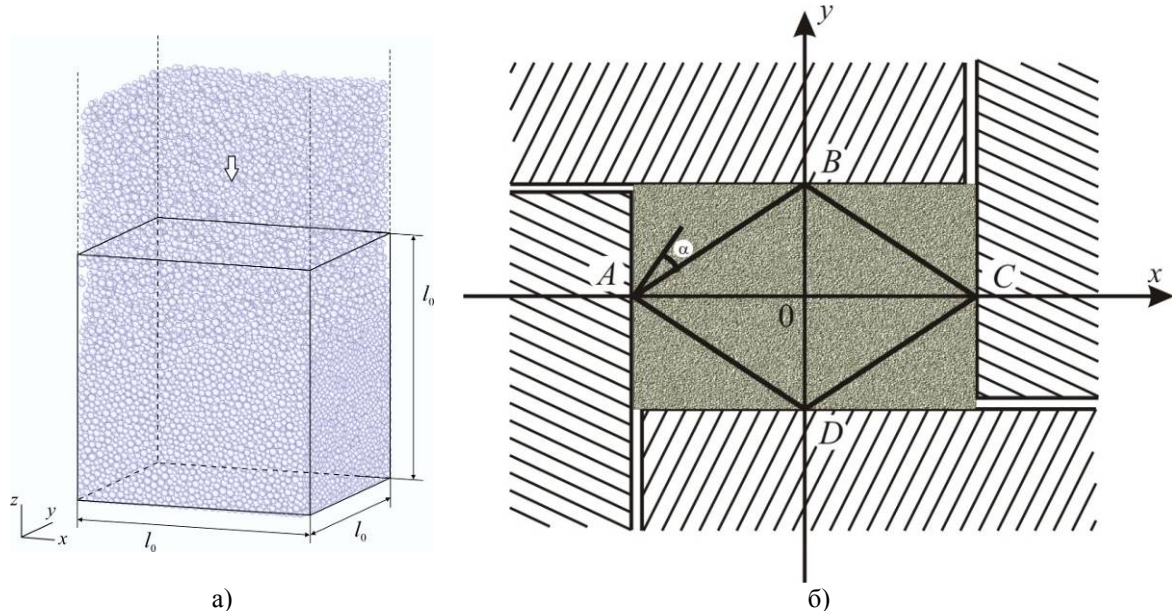


Рис. 1. Схема численного эксперимента: засыпка дискретных элементов в контейнер под действием силы тяжести (а); схема нагружения (б)

В целом описанная выше программа является весьма обширной, и описание ее результатов выходит за рамки одной статьи. Поэтому ниже ограничимся описанием макросвойств только одного типа упаковок сферических частиц. Кроме того, ограничимся монотонными нагружениями без поворота осей тензора деформации. Отношение максимального радиуса частицы к минимальному равнялось 2. Общее количество частиц в численных экспериментах составляло порядка 70 000, распределение радиусов в указанном диапазоне выбиралось на основе равномерного закона. Данными частицами заполнялась область в виде куба длиной ребра $l_0 = 1$. Формирование упаковки осуществлялось путем создания начального распределения всего набора из первоначально не контактирующих между собой частиц на определенной высоте над неподвижной нижней гранью $z = 0$ и последующей их усадке под действием силы тяжести с учетом контактного взаимодействия друг с другом и границами емкости (контейнера) (рис. 1а). По достижению состояния равновесия частицы, у которых вертикальная координата центра тяжести не удовлетворяла соотношению $z_i \leq 1$, удалялись. Значения угла сухого трения φ_{ij} между частицами с номерами i и составляли 10° и 30° . Трение между частицами и границей отсутствует. Плотность частиц $\rho_i = 2500 \text{ кг/м}^3$, модуль упругости $E_i = 10 \text{ ГПа}$ ($i, j = 1, \dots, N$), вязкость отсутствует.

Нагружение осуществлялось следующим образом. Боковые грани куба симметрично смещались в направлении осей θx и θy (рис. 1б). Программа нагружения выбиралась таким образом, чтобы площадь камеры в плане оставалась неизменной:

$$l_x \cdot l_y = \text{const}, l_x = AC, l_y = BD.$$

В процессе нагружения, значение l_x монотонно увеличивалось от 1, а значение l_y — уменьшалось. В данных условиях область $ABCD$ будет испытывать большие сдвиги и на всей траектории нагружения ее площадь $ABCD$ будет оставаться постоянной. Именно такой сдвиг был экспериментально реализован в работе [5]. Представленная схема нагружения удобна для исследования дилатансии в сыпучем материале, которую можно сразу вычислить по изменению высоты образца.

Боковые поверхности емкости предполагались абсолютно жесткими и гладкими. На верхней грани задавались либо нулевые касательные и постоянные нормальные напряжения (условие пригрузки), ибо нулевые значения касательных напряжений и нулевые вертикальные компоненты смещений. Последнее соответствует условиям, когда положительная дилатансия материала подавляется фиксированной жесткой гладкой плитой.

В процессе численного счета выводились параметры образца

$$\varepsilon_x = \frac{l_x - l_0}{l_0}, \varepsilon_y = \frac{l_y - l_0}{l_0}, \varepsilon_z = \frac{l_z - l_0}{l_0},$$

и напряжения

$$\sigma_x = \frac{1}{l_y \cdot l_z} \sum_{i=1}^{N_x} F_{x,i}, \sigma_y = \frac{1}{l_x \cdot l_z} \sum_{i=1}^{N_y} F_{y,i},$$

где $F_{x,i}$ и $F_{y,i}$ — горизонтальная и вертикальная компонента вектора контактной силы, действующей на стенку со стороны i -й частицы соответственно. Как отмечалось $l_0 = 1$ — начальная длина ребер области. Суммирование производилось только по частицам, находящимся в контакте с границей; N_x и N_y — количество контактов частиц и соответствующей границы; l_z — текущая высота образца. По напряжениям на боковых гранях, можно вычислить величину $\zeta = \sigma_x / \sigma_y$ — коэффициент бокового распора.

Следует подчеркнуть, что здесь значения ζ вычисляются методом дискретных элементов, не прибегая ни к каким уравнениям континуальной механики. С другой стороны, из континуальной теории предельного равновесия следует, что значение коэффициента бокового распора должно равняться $\xi = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2}\right)$, где Φ — эффективный угол внутреннего трения среды. Поэтому по значениям ζ можно

определить эффективное значение угла Φ , которое должно фигурировать в континуальной модели.

На рис. 2а показана дилатансионная кривая, а на рис. 2б — коэффициент бокового распора ζ при постоянной пригрузке на верхней грани области $\sigma_z = const$. Сплошная линия соответствует значению угла сухого трения между частицами $\varphi_{ij} = 10^\circ$, а штриховой — значению $\varphi_{ij} = 30^\circ$. Видно, что на начальном этапе деформирования происходит уплотнение материала, а затем — разрыхление. Это качественно соответствует экспериментальным данным, представленным в [5, 6] для песка (то есть для материала с несферическими частицами и другим грансоставом).

Из диаграммы на рис. 2б видно, что материал переходит в предельное состояние при $\varepsilon_x = 0.2$. В экспериментах все диаграммы приводились как функции угла α (см. рис. 1б). Легко показать, что $\alpha = 90^\circ - 2 \arctg(1 + \varepsilon_x)^{-2}$.

Следовательно, значению $\varepsilon_x = 0.2$ отвечает угол сдвига, который равняется $\alpha = 20^\circ$.

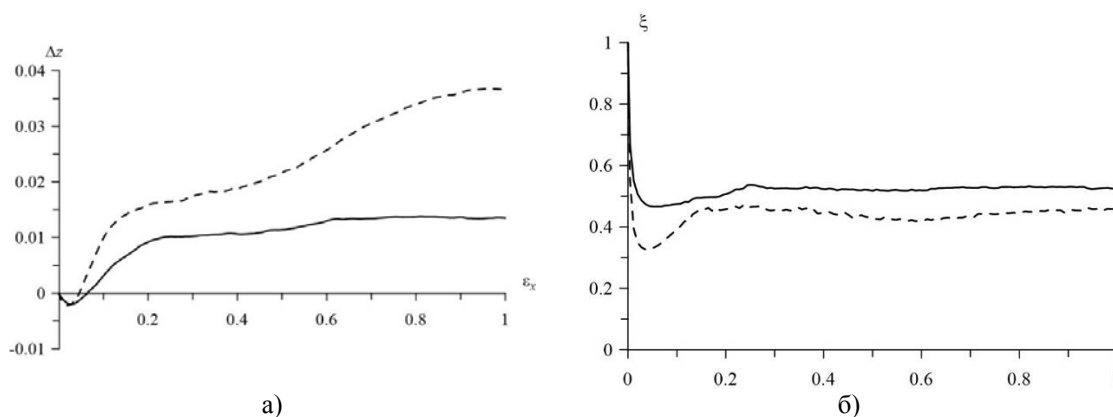


Рис. 2. Результаты численного эксперимента при постоянной пригрузке на верхней границе ($\sigma_z = const$): дилатансионная кривая (а); коэффициент бокового распора ζ (б). Сплошная линия соответствует значению угла сухого трения между частицами $\varphi_{ij} = 10^\circ$, штриховая — $\varphi_{ij} = 30^\circ$

На рис. 3 представлена величина ζ в случае фиксированной верхней границы ($\varepsilon_z = 0$). Здесь, в отличие от предыдущего условия, значения ζ для $\varphi_{ij} = 10^\circ$ превышают значения данной величины для угла сухого трения между частицами, равного 30° .

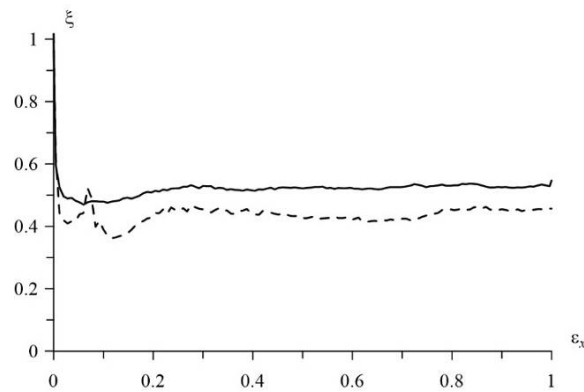


Рис. 3. Коэффициент бокового распора ζ в численном эксперименте с фиксированной верхней границей. Сплошная линия соответствует значению угла сухого трения между частицами $\varphi_{ij} = 10^\circ$, штриховая — $\varphi_{ij} = 30^\circ$

При таком краевом условии объем образца остается неизменным, то есть дилатансия подавляется за счёт увеличения напряжений на границе образца (рис. 4).

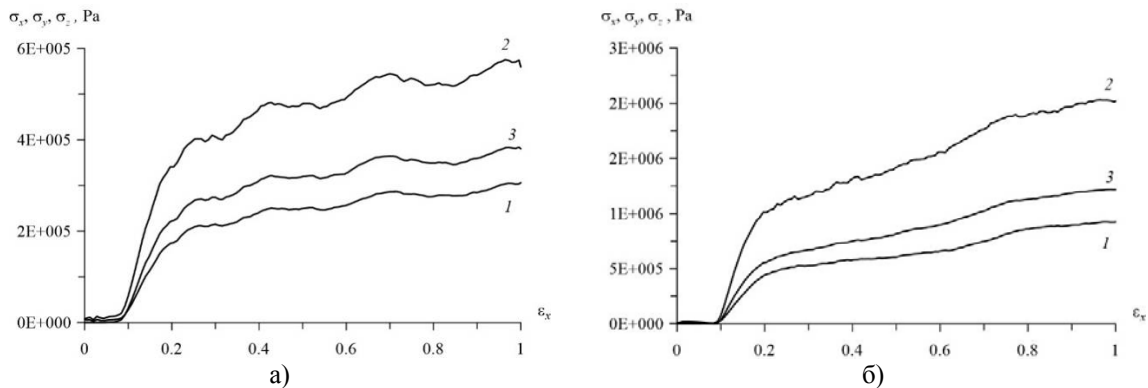


Рис. 4. Напряжения, действующие на границах образца при фиксированной верхней грани ($\varepsilon_z = 0$ при $z = l_0$): угол сухого трения между частицами $\varphi_{ij} = 10^\circ$ (а); 30° (б)

Выводы

Таким образом, до величины сдвигов порядка 0.2 ($\alpha \sim 20^\circ$) состояние образца можно отнести к допредельному. При больших сдвигах образец переходит в предельное состояние. Полученные численные данные можно использовать в соответствующих континуальных моделях сплошной среды.

Литература.

1. Revuzhenko A.Ph., Klishin S.V. Numerical Method for Constructing a Continual Deformation Model Equivalent to a Specified Discrete Element Model // Physical Mesomechanics, 2013, Volume 16, Issue 2, pp. 152–161.
2. Kazantsev A.A., Klishin S.V., Revuzhenko A.F. On the pressure of loose material on the bottom and walls of a drum // Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 682, pp 375–379.
3. Lavrikov S.V. Simulation of geomaterial flow in convergent channels with consideration for internal friction and dilatancy // Journal of Mining Science, 2010, Vol. 46, Issue 5, pp. 485–494.
4. Aksenov V.V., Lavrikov S.V., Revuzhenko A.F. Numerical modeling of deformation processes in rock pillars // Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 682, pp 203–205.
5. Bobryakov A.P., Revuzhenko A.Ph. Uniform displacement of a granular material. Dilatancy // Journal of Mining Science, 1982, Volume 18, Issue 5, pp. 373–379.
6. Bobryakov A.P., Revuzhenko A.Ph., Shemyakin E.I. Uniform shear of granular material. Localization of deformation // Journal of Mining Science, 1983, Volume 19, Issue 5, pp. 372–376.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ СЛАБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ

А.Ф. Ревуженко *, д.т.н., В.П. Косых *, к.т.н., М.Ю. Блащук **, к.т.н.

* Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,

630091, г. Россия, Новосибирск, Красный проспект, 54

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: mby.tpu@gmail.com

Введение. По собственному опыту мы хорошо знаем, что незначительные воздействия, если они осуществляются систематически и длительное время, могут приводить к значительным последствиям. В качестве примера можно указать на обычный обеденный стол, ножки которого прикреплены болтами с гайками. С течением времени под влиянием периодических слабых нагрузок гайки раскручиваются, стол расшатывается и, если не принять меры, то со временем стол, по-видимому, рухнет. Во многих других ситуациях последствия длительных слабых воздействий могут быть гораздо серьезнее. В [1,2] рассмотрены некоторые примеры, связанные с предельным поведением геоматериалов, а в [1] – примеры инициирования деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями. Дальнейшее изучение подобных процессов удобно проводить на сыпучих материалах без сцепления.

Механическое поведение таких материалов определяется двумя основными факторами: наличием большого числа контактирующих между собой частиц и законами взаимодействия между частицами. Основными являются законы трения скольжения и качения между частицами. Условия сухого трения сводятся к двусторонним неравенствам относительно сил, возникающих на контактах. Всё это приводит к тому, что одна и та же упаковка частиц может иметь практически бесконечное число форм равновесия. При этом число различных упаковок одних и тех же частиц также практически неограниченно. Всё это означает, что исходный образец материала обладает большим объёмом памяти, связанным с историей его формирования. В частности за счёт способа формирования образца и его предварительного деформирования можно получить чрезвычайно широкий спектр различных напряжённых состояний образца.

Экспериментальные результаты. Рассмотрим следующий пример.

Возьмем стеклянный цилиндрический стакан диаметром 83 мм и высотой 150 мм, с толщиной стенки 2 мм. Заполним его через воронку речным песком с размером частиц 0.45 – 0.53 мм. На глубине 90 мм поместим датчик вертикального давления размерами 12×25×3 мм. По стенке емкости на уровне датчика будем наносить слабые удары с энергией $E = 3.85 \cdot 10^{-3}$ Дж и частотой 80 ударов в минуту. Казалось бы, что удары должны привести к монотонной релаксации сдвиговых напряжений так, что система быстро придет к стационарному состоянию. Однако опыт показывает, что это не так. На рис. 1 приведена типичная экспериментальная зависимость изменения среднего давления p на датчик от числа ударов N ; $p = P/\gamma h$, где P – показания датчика, γ , h – удельный вес и высота столба материала над датчиком. Опыт проводился в течение 5-ти суток с перерывом на ночь. После перерыва измерительная аппаратура прогревалась и показания датчика совмещались с предыдущими (места стыковки диаграмм на рисунке показаны точками).

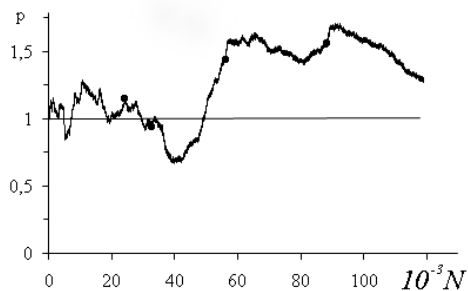


Рис. 1

Как видно из рисунка, давление меняется немонотонно. Происходит его отклонение относительно γh как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Для приведенной диаграммы размах колебаний величины p порядка ≈ 1 .

Гармонический анализ показал, что на амплитудном спектре изменения давления имеются выраженные пиковые значения. Первые три наиболее значимые амплитуды составляют 0.363, 0.162, 0.052 и соответствуют периодам 160.6, 37.6, 19.0 тысяч ударов.

Такое поведение сыпучего материала можно объяснить непрерывной перестройкой силовых цепочек и переупаковкой материала под влиянием слабых воздействий. В данном случае мы имеем образец

с большим числом частиц (порядка $5 \cdot 10^6$). Естественно, что полученное при формировании образца состояние системы является метастабильным. Например, меняя способы формирования упаковки частиц можно добиться любых исходных давлений на датчик, по крайней мере в диапазоне $(0.8 \div 1.7)\gamma h$. Это означает, что образец материала, сформированный тем или иным способом, в исходном состоянии представляет термодинамически неравновесную систему. Если к этой системе-подводить каким-либо способом энергию, например, путем слабых ударов, то возможны различные сценарии ее эволюции, включая и возникновение диссипативных структур [1]. Пример такой эволюции и демонстрирует описанный эксперимент.

Теоретические оценки. Как отмечалось, исходное состояние образца зависит от истории его создания. Формально это означает, что нам для различных манипуляций доступны не только граница образца, но и все его внутренние элементарные объёмы. Историю формирования образца можно учесть, используя метод дискретных элементов. Если заранее выбрать потенциал взаимодействия между частицами, то задавая разные условия засыпки, например, как в [2,3] мы будем получать различные распределения самоуравновешенных начальных напряжений. При континуальном же подходе замкнутой системы уравнений для описания исходного напряжённого состояния не существует. Максимум что здесь можно получить — это незамкнутую систему уравнений, дополненную рядом неравенств, указывающих на ограниченность несущей способности среды. Учитывая большую неопределённость задачи, рассмотрим только простейшие её решения. Предположим, что деформация является плоской. Пусть $0x, 0y$ — горизонтальная и вертикальная оси координат, $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{xy}$ — достаточно гладкие компоненты тензора напряжений, γ — удельный вес (рис. 2). Уравнения равновесия имеют вид

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} - \gamma = 0. \quad (1)$$

Уравнения должны быть дополнены неравенствами типа

$$(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2 \leq \sin^2 \phi (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2, \quad (2)$$

где ϕ — угол внутреннего трения.

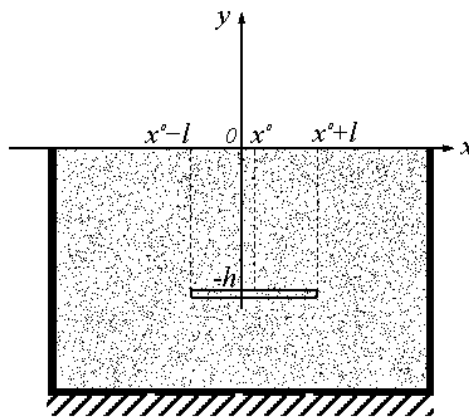


Рис. 2

Кроме того, на контактах с ограждающими поверхностями и поверхностью датчика должны выполняться условия внешнего трения

$$|\tau_n| \leq -tg\phi \sigma_n, \quad (3)$$

где \bar{n} — нормаль к контакту, τ_n, σ_n — компоненты напряжений, ϕ — угол внешнего трения.

В частности на свободной поверхности $\sigma_n = 0, \tau_n = 0$. Рассмотрим случай, когда свободная поверхность горизонтальна ($y = 0$), среда занимает область $y \leq 0$ (остальные границы $x = const$ или $y = const$), датчик нормальных усилий расположен горизонтально при $x^0 - l < x < x^0 + l$ на глубине $y = -h, x^0$ — координата середины датчика, $2l$ — его длина.

Методом разделения переменных нетрудно построить следующий класс решений уравнений (1):

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= k(t)y + f(x,t)g''(y,t) \\ \sigma_{yy} &= \gamma y + f''(x,t)g(y,t) \\ \sigma_{xy} &= -f'(x,t)g'(y,t),\end{aligned}\tag{4}$$

где t — время, k, f, g — произвольные функции своих аргументов, штрихи означают производные по координатам. При $y = 0$ должны выполняться следующие равенства: $\sigma_{yy} = 0, \sigma_{xy} = 0$ и, кроме того, $\sigma_{xx} = 0$. Последнее следует из (2). Отсюда

$$g(0,t) = g'(0,t) = g''(0,t) = 0.\tag{5}$$

Обозначим через p — среднее давление на датчик:

$$p(t) = -\frac{1}{2l} \int_{x^0-l}^{x^0+l} \sigma_{yy}(x,-h,t) dx.$$

Сжимающему давлению отвечает значение $p > 0$. Для решения (4) все интегралы легко берутся и формулу для давления можно получить в элементарном виде:

$$p = \gamma h - \frac{f'(x^0+l,t) - f'(x^0-l,t)}{2l} g(-h,t).$$

Условия (2), (3) дают определённые ограничения на функции, которые фигурируют в решении (4).

Отсюда можно определить диапазон возможных значений давления p . Рассмотрим пример. (Аргумент t опустим). Условия (5) показывают, что функция $g(y)$ должна представлять собой полином степени не ниже трёх. Положим $g(y) = Cy^3$, где $C = const$. По x возьмём периодическую функцию $f(x) = \cos \lambda x$. Масштаб длины выберем так, чтобы $\lambda = 1$. Таким образом, получаем

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= ky + 6Cy \cos x, \\ \sigma_{yy} &= \gamma y - Cy^3 \cos x, \\ \sigma_{xy} &= 3Cy^2 \sin x, \\ p &= \gamma h - Ch^3 \cos x^0 \frac{\sin l}{l}.\end{aligned}\tag{6}$$

Пусть $-h < y \leq 0, \phi = \varphi$. Условия $\sigma_{xx}, \sigma_{yy} < 0$ выполняются, если $|C| < \min\left(\frac{k}{6}, \frac{\gamma}{h^2}\right)$. Неравенства, связанные с (2), (3), в общем случае являются весьма громоздкими и малообозримыми. Поэтому ограничимся частным случаем, когда ширина датчика мала $\frac{l}{h} \ll 1$ и $\cos x^0 = 1$, то есть центр датчика располагается либо в точке максимума сжатия σ_{yy} (при $C < 0$), либо в точке минимума сжатия (при $C > 0$). Неравенства (2), (3) приводят к следующей оценке

$$\frac{\gamma}{6} \left(\xi - \frac{k}{\gamma} \right) < C < \frac{\gamma}{6 + h^2/\xi} \left(\frac{1}{\xi} - \frac{k}{\gamma} \right),$$

где $\xi = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$. Ясно, что при $C = 0$ распределение напряжений (6) переходит в диниковское. При этом отношение $\frac{k}{\gamma}$ может лежать только в диапазоне $\left(\xi, \frac{1}{\xi}\right)$. Отсюда следуют оценки для значений p . Они относятся только к исходному напряжённому состоянию. Определение его эволюции в процессе слабых воздействий представляет собой самостоятельную динамическую задачу. Если допустить, что подобные воздействия приводят к миграции максимумов напряжений с сохранением вида решений (6) (возможно, при $C = C(t)$), то можно сказать, что решение (6) обладает определённой эргодичностью. В этом случае периодичность давлений в фиксированной точке с течением времени связана с периодичностью решения по пространству. Периодичность по пространству легко объяснить следующим образом. Вырежем мысленно прямой цилиндр, основанием которо-

го служит датчик давления. Пусть суммарные касательные напряжения, действующие на боковую поверхность цилиндра со стороны внешнего материала, равны T . Если давление на датчик меньше гидростатического p , то $T > 0$. Значит, на других площадках значение T является отрицательным и давление обязательно будет больше гидростатического.

Таким образом, прямые эксперименты и теоретические оценки указывают на знакопеременную реакцию сыпучей среды на длительные слабые воздействия. Естественно сопоставить её с явлением знакопеременной реакции горных пород на взрывные воздействия [1,2]. Есть все основания считать, что в обоих случаях природа указанных эффектов одна и та же — множественность возможных форм равновесия геосреды.

Вывод: Для сыпучих сред имеет место явление знакопеременной реакции, аналогичное знакопеременной реакции горных пород на взрывные воздействия. Отклонение реакции сыпучей среды (нормального давления) при длительных (до 120 тыс. ударов) динамических воздействиях составляет от -40 до 100% от гидростатического давления.

Литература.

1. Бобряков А.П., Ревуженко А.Ф., Косых В.П. О катастрофических последствиях длительных слабых воздействий на сыпучую среду // ФТПРПИ. - 1995. - № 1. - С. 19-24.
2. Бобряков А.П., Ревуженко А.Ф., Косых В.П. // О влиянии длительных слабых воздействий на сопротивление сыпучих сред срезу // ФТПРПИ. - 1996. - № 2. - С. 26-30.
3. Костюченко В.Н., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В. Инициирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. - 2004. - т. 7. - № 1. - С. 5-22.
4. Пригожин И. Конечность определенности. Время, хаос и новые законы природы. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». — 2000. — 208 с.
5. Kazantsev A.A., Klishin S.V., Revuzhenko A.F. On the pressure of loose material on the bottom and walls of a drum // Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 682, pp 375–379.
6. Ревуженко А.Ф., Клишин С.В., Микенина О.А. Об одном алгоритме синтеза упаковок частиц в рамках аристотелевской механики // Физическая мезомеханика. - 2014. - Т. 17. - № 5. - С. 51–56.
7. Курленя М.В., Опарин В.Н. и др. О некоторых особенностях реакции горных пород на взрывные воздействия в ближней зоне // ДАН АН СССР. - 1987. - т. 293 - № 1. - С. 67 – 70.
8. Курленя М.В., Адушкин В.В. и др. Знакопеременная реакция горных пород на динамическое воздействие // ДАН АН СССР. - 1993. - т. 323 - № 2. - С. 263 – 265.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С УЧЁТОМ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ

*С.В. Лавриков **, к.ф.-м.н., *А.Ф. Ревуженко **, д.ф.-м.н., *А.А. Казанцев ***, к.т.н.

** Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
630091, г. Россия, Новосибирск, Красный проспект, 54*

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ak_uti@rambler.ru

1. Введение

Практика эксплуатации горных выработок показывает, что применение упругого (как изотропного, так и анизотропного) тела в качестве модели массива горных пород не всегда отражает реальную картину процессов деформирования [1-6]. В первую очередь, это связано с тем, что напряжения в массиве после разгрузки контура выработки обуславливают переход среды в приконтурной зоне в неупругое состояние. В ряде работ массив в окрестности выработки рассматривается как неоднородная блочная среда [7-11]. Внутренняя структура массива и наличие разломов приводят к существенной нелинейности и анизотропному поведению. Значительную роль здесь играют процессы сдвигов между блоками и связанная с этим возможность упрочнения либо разупрочнения среды.

При описании внутренней структуры геоматериалов в настоящее время наиболее распространён подход, основанный на использовании внутренних переменных. Это позволяет вводить гладкие осреднения исходных разрывных полей смещений, деформаций и напряжений, сохраняя информацию о свойствах микроструктурных элементов (блоки, зёрна, материал, заполняющий поровое пространство). Такой подход позволяет описать фундаментальные макросвойства геоматериалов: блоч-

ность, анизотропию, пластические сдвиги, внутреннее трение, дилатансию, разупрочнение. В этот же ряд можно поставить и способность горной породы аккумулировать упругую энергию в виде внутренних самоуравновешенных напряжений. При определённых условиях эта энергия может быть высвобождена, и таким образом отдельные области массива могут выступать в качестве стоков и затем и источников энергии.

2. Математическая модель горной породы.

В работе [12] разработана концепция горной породы как активной среды с внутренними источниками и стоками энергии и сформулированы определяющие соотношения структурно-неоднородной горной породы. Внутренняя структура моделируется относительно жёстким скелетом, представляющим собой эффективную регулярную упаковку зёрен, и цементирующим материалом, который заполняет межзёренные поры (рис. 1). На границах между зёрнами допускаются проскальзывания. Условия совместности и связь между микро- и макропеременными в соответствии с [12] позволяют записать определяющие соотношения модели, связывающие компоненты тензоров осреднённых макродеформаций ε_{ij} и макронапряжений σ_{ij} , в виде

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{pmatrix} = W \cdot \left((T^t + R)^{-1} + 2 \cdot (T^r + P)^{-1} \right) \cdot W^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где матрицы третьего порядка T^t, T^r описывают свойства зёрен в различных системах координат, P – свойства поровой среды, R – условия межзёренных проскальзываний, $W(\alpha)$ – определяет ориентацию эффективной регулярной упаковки зёрен относительно декартовой системы координат Ox_1x_2 , причём угол α рассматривается как угол напластования слоёв анизотропного массива.

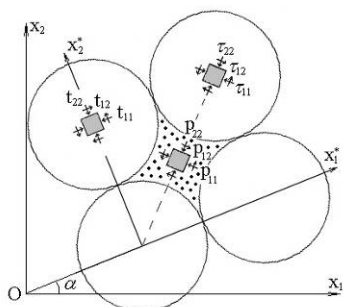


Рис. 1. Внутренняя структура среды (направления действующих усилий)

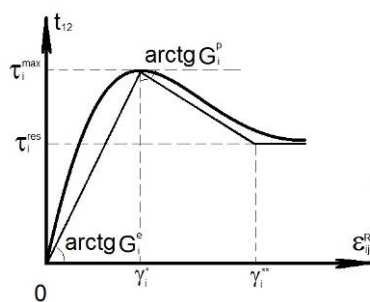


Рис. 2. Диаграмма межзёренного проскальзывания с учётом стадии разупрочнения

Ограничимся случаем, когда свойства зёрен и порового материала являются линейно упругими, но с различными упругими постоянными. Тогда матрицы T^t, T^r и P однозначно определяются через упругие коэффициенты Пуассона и модули сдвига зёрен ν^t, μ^t и поровой среды ν^p, μ^p соответственно. Предположим, что межзёренные проскальзывания развиваются по нелинейному пластическому закону и проходят стадии упрочнения, разупрочнения и остаточной прочности. На рис. 2 показана кусочно-линейная аппроксимация общей нелинейной зависимости касательных напряжений от сдвигов на контактах. Уравнения, описывающие проскальзывания (в общем случае предусматривается возможность несимметричного функционирования двух семейств контактов $\gamma_1 \neq \gamma_2$), примут вид

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_1 &= \Delta\tau_{12} / G_1^s, \\ \Delta\gamma_2 &= \Delta\tau_{12} / G_2^s, \end{aligned} \quad \text{где } G_i^s = \begin{cases} G_i^e, & 0 \leq \gamma_i < \gamma_i^*, \\ -G_i^p, & \gamma_i^* \leq \gamma_i < \gamma_i^{**}, \\ 0, & \gamma_i^{**} \leq \gamma_i. \end{cases} \quad (2)$$

где константы G_i^e, G_i^p по определению неотрицательны. В силу нелинейности диаграммы (см. рис. 2), модули контактного взаимодействия G_i^s не являются постоянными, они меняются по мере

развития сдвигов на контактах, поэтому уравнения (2) записаны в приращениях. Тогда матрица R имеет один ненулевой элемент $(R)_{33} = \frac{G_1^s + G_2^s}{2G_1^s G_2^s}$.

Определяющие соотношения (1) после сделанной конкретизации свойств структурных элементов могут быть переформулированы в следующей форме для приращений

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta u_1}{\partial x_1} &= a_{11} \Delta \sigma_{11} + a_{12} \Delta \sigma_{22} + a_{13} \Delta \sigma_{12}; \\ \frac{\partial \Delta u_2}{\partial x_2} &= a_{21} \Delta \sigma_{11} + a_{22} \Delta \sigma_{22} + a_{23} \Delta \sigma_{12}; \\ \frac{\partial \Delta u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial \Delta u_1}{\partial x_2} &= a_{31} \Delta \sigma_{11} + a_{32} \Delta \sigma_{22} + a_{33} \Delta \sigma_{12}; \end{aligned} \quad (3)$$

где коэффициенты a_{ij} зависят от упругих постоянных зёрен и порового материала, модулей G_i^e, G_i^p , угла анизотропии α , и не зависят (на стадии активного нагружения) от приращений напряжений $\Delta \sigma_{ij}$ и приращений смещений Δu_i . Система определяющих уравнений (3) замыкается уравнениями равновесия в приращениях

$$\frac{\partial \Delta \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Delta \sigma_{12}}{\partial x_2} = 0, \quad \frac{\partial \Delta \sigma_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Delta \sigma_{22}}{\partial x_2} = 0. \quad (4)$$

3. Векторный потенциал поля напряжений.

Форма записи замкнутой системы уравнений (3), (4) является классической – уравнения равновесия плюс связи напряжений с деформациями. Однако эта форма является в определённом смысле патологической. Так, система (3), (4) представляет собой пять дифференциальных уравнений, каждое из которых имеет первый порядок. Однако сводится она к одному уравнению не пятого, а четвёртого порядка. Например, для упругого тела сводится к бигармоническому уравнению относительно функции Эри. Есть признаки патологичности, связанные с механическим смыслом системы. В системе (3), (4) «на равных» фигурируют все три компоненты напряжений $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$. Поэтому сам вид системы не исключает постановок краевых задач, когда, например, на границе $x_1 = 0$ задается напряжение σ_{22} . С механической точки зрения подобные задачи, как известно, смысла не имеют. Однако при записи системы в форме (3), (4) подобные «задачи» формально выглядят так же, как и задачи с заданными напряжениями σ_{11}, σ_{12} . Патологичность системы проявляется и при исследовании её типа. Данные Коши для любой линии L всегда оказываются связанными между собой. Отсюда, конечно, не следует, что L – характеристика системы. Попытка же найти характеристики и соотношения на них наталкивается на значительные трудности. Все перечисленные признаки связаны между собой и приводят к одному выводу: модель (3), (4) в своей сущности должна сводиться не к пяти, а только к четырем дифференциальным уравнениям первого порядка. Поэтому и независимых переменных должно быть не пять, а четыре. К искомой системе четырех «существенных» уравнений можно прийти следующим образом. Зафиксируем некоторую точку O , принадлежащую телу, и соединим её с точкой A произвольной кривой OBA , также принадлежащей телу. Обозначим через $\vec{f} = \{f_1, f_2\}$ усилие, которое действует на контур OBA со стороны нормали, показанной на рис. 3. Если взять другой контур $OB'A$, то усилие будет таким же (здесь необходимо предположить, что массовые силы отсутствуют). Таким образом, функция \vec{f} зависит только от координат точки A . Связь функции \vec{f} с напряжениями даётся формулами

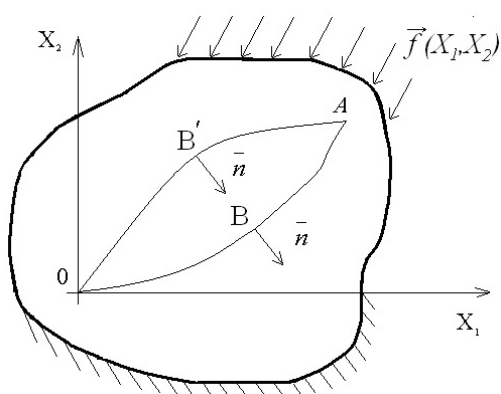


Рис. 3. Определение вектора внутренних усилий \vec{f}

$$\sigma_{11} = \frac{\partial f_1}{\partial x_2}, \quad \sigma_{12} = \frac{\partial f_2}{\partial x_2}, \quad \sigma_{21} = -\frac{\partial f_1}{\partial x_1}, \quad \sigma_{22} = -\frac{\partial f_2}{\partial x_1} \quad (5)$$

Поэтому \vec{f} естественно назвать векторным потенциалом поля напряжений. Условие парности касательных напряжений приводит к уравнению

$$\operatorname{div} \vec{f} = \frac{\partial f_1}{\partial x_1} + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, во всех построениях вектор \vec{f} может заменить тензор напряжений. При этом два уравнения равновесия относительно напряжений переходят в одно уравнение (6) относительно компонент вектора \vec{f} . Система (3), (4) (без учёта приращений) приобретает следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} &= 0 \\ \frac{\partial u_1}{\partial x_1} &= a_{11} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} - a_{12} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} - a_{13} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \\ \frac{\partial u_2}{\partial x_2} &= a_{21} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} - a_{22} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} + a_{23} \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} &= a_{31} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} - a_{32} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} - a_{33} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Данная система имеет целый ряд преимуществ перед стандартной системой (3), (4). Во-первых, она содержит только четыре уравнения первого порядка и соответствующая матрица вырожденной не является. Исследование её типа и вывод соотношений вдоль характеристик никаких трудностей не представляет. Так, нетрудно заметить, что при $a_{22} = 0$ третье уравнение содержит только производные по x_2 . Поэтому число корней уравнения $a_{22} = 0$ определяет и число характеристических направлений в точке. При этом само уравнение, записанное в криволинейных координатах, представляет собой соотношение вдоль характеристики.

Отметим также, что в описании (7) кинематические и силовые характеристики процесса деформирования фигурируют «на равных»: в обоих случаях речь идёт о векторных полях $\vec{u}(x_1, x_2)$ и $\vec{f}(x_1, x_2)$. Последнее открывает пути исследования сопряжённых задач, когда вектор $\vec{u}(x_1, x_2)$ объявляется потенциалом напряжений или их скоростей, а вектор $\vec{f}(x_1, x_2)$ объявляется вектором перемещений или скоростей перемещений.

По-видимому, впервые вектор, совпадающий с \vec{f} , под названием «результатирующая сила» был введён в работе [13]. В [14] он вводился независимо на основе соображений, изложенных выше. Затем под названием «перемещения напряжений» вектор вводился также в работе [15].

4. Анализ модели с учётом разупрочнения.

Хорошо известно, что решение задач с разупрочнением (ниспадающая ветвь) приводят к ряду математических трудностей. Так, при учёте разупрочнения возникают вопросы о единственности решения. С физической точки зрения в разупрочняющейся среде могут происходить динамические скачки – динамическое неконтролируемое высвобождение накопленной упругой энергии.

Проанализируем тип замкнутой системы уравнений (3), (4). Выше показано, что она эквивалентна системе (7), из которой следует, что линия x_2 является характеристикой в случае выполнения условия $a_{22} = 0$. Анализ показывает, что уравнение $a_{22} = 0$ имеет решение, когда параметры, описывающие свойства структурных элементов, удовлетворяют неравенствам

$$0 \leq \frac{(\mu^t + \mu^p)(2\mu^t + s) + \frac{(1-2\nu^t)[(1-2\nu^t)\mu^p + (1-2\nu^p)\mu^t]}{3(1-2\nu^t)\mu^p + (1-2\nu^p)\mu^t}}{(\mu^t + 3\mu^p)s + 4\mu^t\mu^p} \leq 1, \quad (8)$$

$$\frac{(\mu^t + \mu^p)(2\mu^t + s)}{(\mu^t + 3\mu^p)s + 4\mu^t\mu^p} - \frac{\mu^t + \mu^p}{\mu^t + 3\mu^p}$$

где $s = \frac{2G_1^s G_2^s}{G_1^s + G_2^s}$. Ограничимся частным случаем, когда свойства зёрен и поровой среды сов-

падают между собой $\nu = \nu^t = \nu^p$, $\mu = \mu^t = \mu^p$. Пусть совпадают также модули взаимодействия зёрен на различных семействах контактов $G^e = G_1^e = G_2^e$, $G^p = G_1^p = G_2^p$. Тогда неравенства (8) существенно упрощаются

$$0 \leq \frac{2(1-\nu)}{\mu} \cdot \frac{2G_1^s G_2^s}{G_1^s + G_2^s} + 3 - 2\nu \leq 1. \quad (9)$$

Рассмотрим различные возможные ситуации развития проскальзываний на межзёрренных контактах. Если оба контакта упрочняются, т.е. $G_1^s = G_2^s = G^e$, тогда неравенства (9) не выполняются ни при каких значениях параметров и характеристик нет. Предположим теперь, что один из межзёрренных контактов достиг стадии разупрочнения, например, $G_1^s = -G^p$, а другой контакт ещё упрочняется, т.е. $G_2^s = G^e$. Тогда условия существования характеристик (9), накладывает ограничение на величину модуля разупрочнения G^p в виде

$$\frac{\mu G^e}{\mu + 2G^e} \leq G^p \leq \frac{(3-2\nu)\mu G^e}{(3-2\nu)\mu + 4(1-\nu)G^e}. \quad (10)$$

Если же оба контакта достигли стадии разупрочнения, т.е. $G_1^s = G_2^s = -G^p$, тогда гиперболичность системы (3), (4) гарантируется выполнением условий

$$\mu \leq G^p \leq \mu \frac{(3-2\nu)}{2(1-\nu)}. \quad (11)$$

В случае несжимаемых зёрен и поровой среды ($\nu = 0,5$) условия (10), (11) сводятся соответственно к

$$\frac{\mu G^e}{\mu + 2G^e} \leq G^p \leq \frac{\mu G^e}{\mu + G^e}, \quad (12)$$

$$\mu \leq G^p \leq 2\mu. \quad (13)$$

Проведённый анализ позволяет заключить следующее. На стадии контактного упрочнения (восходящий участок диаграммы на рис. 2) система имеет эллиптический тип, при постановке крайних условий на всём контуре расчётной области решение единственно. При учёте разупрочнения на межзёрренных контактах возможны три различные ситуации в зависимости от величины наклона ниспадающей ветви. В первом случае при слабом разупрочнении, когда модуль G^p не превышает значений $G^p < \frac{\mu G^e}{\mu + 2G^e}$ и $G^p < \mu$ (для рассмотренного выше частного случая), тип системы остаётся

эллиптическим. Здесь упругое упрочнение зёрен и поровой среды превалирует над разупрочнением на межзёрренных контактах и, таким образом, макродиаграмма деформирования представляет собой упругопластическую диаграмму с упрочнением.

Второй случай реализуется в диапазоне параметров разупрочнения, заданных условиями (12), (13). Здесь тип системы меняется на гиперболический. Теперь уже разупрочнение на контактах превалирует над упругим упрочнением зёрен и поровой среды, и, таким образом, макродиаграмма является разупрочняющейся – содержит ниспадающую ветвь. Для численного счёта этот диапазон исключался.

Наконец, последний случай реализуется, когда наклон ниспадающей ветви на контактах достаточно крутой $G^p > \frac{\mu G^e}{\mu + G^e}$ и $G^p > 2\mu$. Здесь тип системы снова меняется на эллиптический. При

этом макродиаграмма представляет собой диаграмму с упрочнением, однако деформирование по ней осуществляется в направлении упругой разгрузки. При таком деформировании на сильно разупрочняющихся контактах будут происходить динамические скачки с высвобождением накопленной упругой энергии, приводящие к упругой разгрузке зёрен и поровой среды. В дальнейшем при численных расчётах на основе модели (3), (4) ограничимся только первым и третьим случаями. Процесс деформирования в первом случае будем называть устойчивым, а в последнем – неустойчивым (с динамическим высвобождением накопленной энергии).

Задачу (3), (4) будем решать в квазистатической постановке по шагам нагружения. Для моделирования динамических скачков разупрочнения разработан алгоритмический приём, который позволяет, оставаясь в рамках квазистатической постановки задачи, построить численное решение с учётом динамического высвобождения энергии [8]. Если условия устойчивости не выполняются (наклон ниспадающей ветви достаточно крутой), то в момент выхода диаграммы межзёренных контактов на ниспадающий участок, дальнейшее нагружение осуществляется заданием не положительного, а отрицательного приращения параметру нагружения. С физической точки зрения задание отрицательного приращения параметру нагружения означает дополнительное внешнее воздействие, призванное «погасить» динамический скачок и «сравить» его квазистатическим способом. Решение с «отрицательным нагружением» строится до тех пор, пока разупрочняющийся контакт не выйдет на стадию остаточной прочности. После этого происходит смена модуля на контакте, и вновь задаётся положительное приращение параметру нагружения. В итоге динамический скачок моделируется квазистатическим прохождением всех промежуточных точек диаграммы без динамических эффектов, а величина межзёренного статического сдвига получает суммарное приращение, равное тому, которое имело бы место при динамическом перескоке.

5. Результаты численных расчётов.

На основе модели (3), (4) разработаны конечно-элементный алгоритм и компьютерная программа, позволяющие численно исследовать плоское напряжённо-деформированное состояние массива горных пород. Рассмотрим задачу о деформировании горного массива в окрестности горизонтальной протяжённой выработки, пройденной на глубине H от дневной поверхности (рис. 4). В качестве расчётной области рассмотрим зону $r \leq R$, окружающую выработку арочного поперечного сечения. Геометрия контура выработки определяется двумя параметрами: R/b и a/b (см. рис. 4). Начальное напряжённое состояние определим в виде линейной зависимости от веса вышележащих слоёв (распределение Динника)

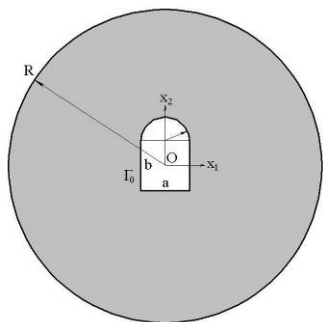


Рис. 4. Расчётная область в случае выработки арочного поперечного сечения

$$\sigma_{22}^0 = -\gamma \cdot (H - x_2), \quad \sigma_{11}^0 = \xi \cdot \sigma_{22}^0, \quad \sigma_{12}^0 = 0, \quad (14)$$

с коэффициентом бокового распора ξ . Краевые условия зада-

дим в виде

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_n|_{\Gamma_0} &= -\Delta d^k \cdot \sigma_n^0, & \Delta\sigma_n|_{r=R} &= 0, \\ \Delta\tau_n|_{\Gamma_0} &= -\Delta d^k \cdot \tau_n^0, & \Delta\tau_n|_{r=R} &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

где $\Delta\sigma_n, \Delta\tau_n$ – приращения нормальной и касательной компонент тензора напряжений, σ_n^0, τ_n^0 – начальные значения напряжений на контуре, Γ_0 – контур выработки (арочного поперечного сечения), Δd^k – приращение параметра нагружения на k -шаге нагружения. Условие $\sum_k \Delta d^k = 1$ соответствует полной разгрузке контура выработки.

Рассмотрим примеры расчётов. Выберем следующие параметры задачи

$$\begin{aligned}
 \mu^l &= 2 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad \nu^l = 0,2; \quad \mu^p = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа}; \quad \nu^p = 0,3; \\
 \gamma_1^* &= \gamma_2^* = 10^{-3}; \quad \gamma_1^{**} = \gamma_2^{**} = 5 \cdot 10^{-2}; \\
 \tau_1^{\max} &= \tau_2^{\max} = 5 \text{ МПа}; \quad \tau_1^{\text{res}} = \tau_2^{\text{res}} = 2 \text{ МПа}; \\
 R/b &= 3,5; \quad a/b = 1; \quad H/b = 500; \quad \gamma = 2,5 \cdot 10^4 \text{ МПа/м}; \quad \xi = 0,42.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Нетрудно убедиться, что параметры (16) удовлетворяют первому случаю нагружения, т.е. гарантируют устойчивое развитие процесса деформирования. Выберем угол $\alpha = \arctg(x_2/x_1) - \pi/4$, соответствующий осесимметричной геометрии линий анизотропии. Численное решение приводит к картине деформирования, показанной на рис. 5.а. Здесь незакрашенные области соответствуют ситуации, когда диаграмма контактного взаимодействия зёрен (см. рис. 2) находится на восходящем участке (стадия упрочнения), серым цветом отмечены области массива, в которых диаграмма вышла на ниспадающий участок (разупрочнение), чёрным цветом показаны области, соответствующие горизонтальному участку диаграммы (остаточная прочность). В процессе нагружения зоны разупрочнения и остаточной прочности зарождаются на поверхности выработки, полностью охватывая её контур. При дальнейшем нагружении эти зоны последовательно одна за другой развиваются вглубь массива, окружающего выработку. На рис. 5.б-в показаны конфигурации изолиний максимального касательного напряжения и максимального сдвига, соответствующие стадии нагружения, показанной на рис. 5.а.

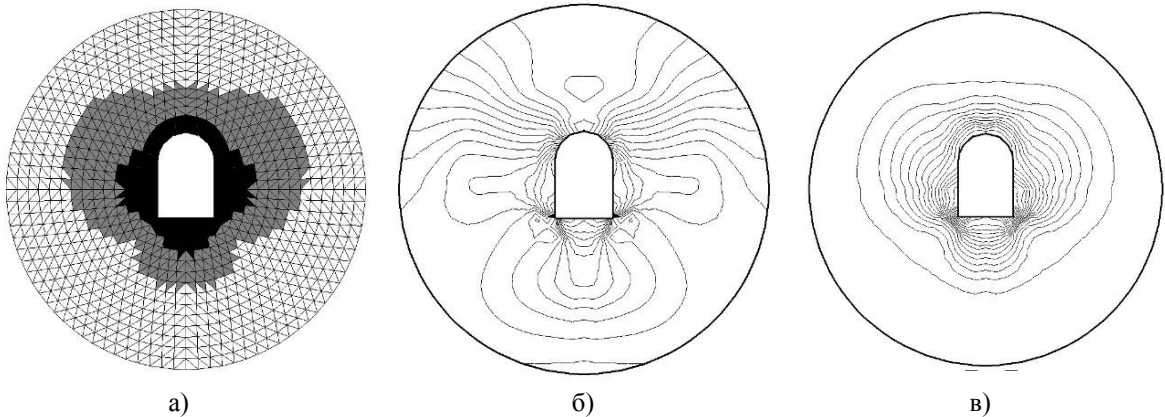


Рис. 5. Устойчивый режим: а – развитие зон разупрочнения и остаточной прочности; б – изолинии максимального касательного напряжения; в – изолинии максимального сдвига

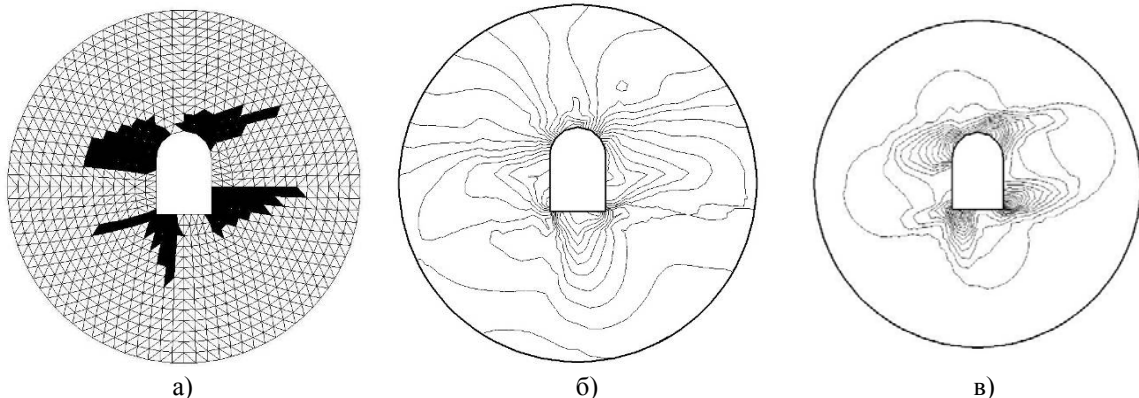


Рис. 6. Неустойчивый режим: а – развитие зон потери сдвиговой прочности; б – изолинии максимального касательного напряжения; в – изолинии максимального сдвига

Изменим теперь значения $\gamma_1^{**} = \gamma_2^{**} = 1,1 \cdot 10^{-3}$; $\tau_1^{\text{res}} = \tau_2^{\text{res}} = 0 \text{ МПа}$, остальные параметры (17) оставим без изменения. Теперь условия устойчивости не выполняются и в процессе деформирования

должны происходить локальные скачки разупрочнения. Кроме этого, после динамического скачка прочность среды на сдвиг на межзёренных контактах полностью утрачивается. Положим угол $\alpha = 15^{\circ}$. Результаты расчётов показаны на рис. б.а-в. Видно, что области разупрочнения (серые зоны) отсутствуют. Образуются, они скачком переходят в области потери сдвиговой прочности (чёрные зоны). Слоистая анизотропия приводит к тому, то зоны потери прочности на сдвиг развиваются от концентраторов напряжений на контуре выработки, полностью его не охватывая. Отсутствие остаточной сдвиговой прочности на контактах приводит к развитию узких протяжённых полос, в которых имеет место интенсивное развитие сдвиговой деформации. Последние можно рассматривать как зоны локализации.

Выводы.

1. При исследовании свойств плоских математических моделей деформирования вместо тензора напряжений удобнее использовать векторный потенциал напряжений.
2. Разработанная упругопластическая модель структурно-неоднородной горной породы позволяет описать различные сценарии развития процесса деформирования, включая неустойчивый сценарий, сопровождающийся динамическими скачками разупрочнения.

Литература.

1. Дорджиев Д.Ю., Протосеня А.Г. Моделирование формирования напряжённо-деформированного состояния вокруг горизонтальной выработки тектонически нарушенного массива // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2010. – вып. 2. – с. 225-230.
2. Пестренин В.М., Пестренина И.В., Костромина П.П. Влияние разгрузочных щелей на напряжённое состояние и ползучесть породного массива в окрестности выработки // Вычислительная механика сплошных сред. – 2011. – т. 4. – № 2. – с. 110-118.
3. Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г. Особенности сейсмического мониторинга слабых динамических событий в массиве горных пород // ФТПРПИ. – 2013. – № 5. – с. 20-36.
4. Колимбас Д., Лавриков С.В., Ревуженко А.Ф. О деформировании анизотропного горного массива в окрестности горизонтальной протяжённой выработки // ФТПРПИ. – 2012. – № 6. – с. 21-36.
5. A.F.Revuzhenko, A.A.Kazantsev, Yu.F.Clazkov, A.A.Dortman. Influence of the longitudinal excavations layout on stress concentration value in the peripheral rock mass // Applied Mechanics and Materials. – vol. 682. – 2014. – pp. 196-201.
6. Kolymbas D., Wagner P., Blioumi A. Cavity expansion in cross-anisotropic rock // Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. – 2012. – 36/2. – pp. 128-139.
7. V.V.Aksenov, S.V.Lavrikov, A.F.Revuzhenko. Numerical modelling of deformation processes in rock pillars // Applied Mechanics and Materials. – vol. 682. – 2014. – pp. 202-205.
8. A.A.Kazantsev, S.V.Klishin, A.F.Revuzhenko. On the Pressure of Loose Material on the Bottom and Walls of a Drum // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – vol. 682. – pp. 375-379.
9. Бушманова О.П., Бушманов С.Б., Устюжанова А.В. Математическое моделирование локализации сдвигов в окрестности круглого отверстия // Известия АлтГУ. – 2010. – № 1.
10. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003.
11. Лавриков С.В. О расчёте напряжённо-деформированного состояния разупрочняющегося блочного массива вблизи выработки // Физическая мезомеханика. – 2010. – т. 13. – № 4. – с. 53-63.
12. Ревуженко А.Ф. Горная порода – среда с внутренними источниками и стоками энергии. Сообщения 1, 2 // ФТПРПИ. – 1990. – № 4, № 5.
13. Hill R. On related pairs of plane elastic states // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 1955. – т. 4. – № 1. – с. 1-9.
14. Ревуженко А.Ф. О деформировании сыпучей среды, ч. 2. Исследование плоской модели // ФТПРПИ. – 1981. – № 5. – с. 3-13.
15. Ивлев Д.Д. Механика пластических сред. т. 2. М.: Физматлит, 2002, 448с.

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА С УЗЛАМИ
КРЕПЛЕНИЯ НА ТРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ**

*А.А. Хорешок**, *Л.Е. Маметьев***, *А.Ю. Борисов****, *А.В. Воробьев*****

,,*** Кафедра горных машин и комплексов/Горный институт, КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000, Россия*

,** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

** Институт угля СО РАН, Кемерово, пр-т, Ленинградский, 10, 650065, Россия*

E-mail: haa.omit@kuzstu.ru, bau.asp@rambler.ru, vorob@tpu.ru

Введение

В ведущих горно-добывающих странах основными средствами механизации проведения горных выработок являются проходческие комбайны. Совершенствование исполнительных органов проходческих комбайнов стреловидного типа путем рационального сочетания и расположения на них режущего и дискового инструмента для реализации принципа разрушения угля и крепких горных пород крупным сколом является актуальной задачей.

Общеизвестно, что количественные показатели процесса разрушения механическим способом определяется физико-механическими свойствами разрушаемого забойного массива и условиями разрушения, включающими тип и геометрические параметры инструмента, параметрами разрушения, типом выемочной горной машины, ее энерговооруженностью, схемой размещения и особенностями перемещения в призабойном пространстве. При этом создатели выемочных горных машин, прежде всего, стремятся к достижению минимальных удельных энергозатрат и энергоемкости в процессе разрушения забоев различных горных выработок [1,2]. В последнее время энергоемкость процесса разрушения в равной степени влияет как на производительность работы горной машины, так и на расход электроэнергии, стоимость которой постоянно возрастает, что приводит к увеличению себестоимости единицы добытой горной массы. Это подчеркивает необходимость в разработке и совершенствовании конструктивных исполнений режуще-скалывающего инструмента с широкой областью применения и конкурентоспособным уровнем энергоемкости процессов разрушения как вязких углей, так и хрупких горных пород.

В современных выемочных горных машинах реализуется механический способ разрушения угольных и породных забойных массивов с использованием широкого конструктивного спектра горного инструмента. Привлекательность механических способов заключается в их технологичности, хорошей адаптации к горно-геологическим условиям, возможности локализации энергии, передаваемой массиву, и непрерывном контроле процессов. Авторы [3] утверждают, что разрушение горных пород резанием является энергетически выгодным процессом. Однако в абразивных породах средней и выше средней крепости этот метод является практически не приемлем, в связи с интенсивным износом рабочего инструмента, из-за невозможности передачи большой единичной мощности, потребной для разрушения массива. Поэтому область эффективного применения разрушения пород резанием ограничивается малоабразивными породами (менее 15 мг прочностью до 60 МПа).

Исследованиями [4, 5], проведенными в КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева доказана возможность и перспективность использования дисковых инструментов на исполнительных органах очистных и проходческих комбайнов.

Многообразие работы горного инструмента на проходческих комбайнах обуславливает необходимость в проведении исследований, направленных на выяснение функциональных возможностей и эффективности использования дисковых инструментов на рабочих органах в виде радиальных и аксиальных коронок [4–16].

Комплекс требований к конструкциям корончатых рабочих органов стреловидных проходческих комбайнов избирательного действия должен базироваться на учете взаимосвязи кинематических, силовых и конструктивных параметров узлов крепления дискового инструмента с физико-механическими свойствами и параметрами разрушения забойных массивов при обеспечении монтажно-демонтажных операций на месте эксплуатации.

Первый этап исследований [4], проведенный на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева позволил разработать радиальную коронку с двухпорным дисковым инструментом (рис. 1). Коронка состоит из следующих конструктивных элементов: 1 – корпус коронки; 2 – дисковый инструмент; 3 – резец; 4 – забурник; 5 – зарубной диск.

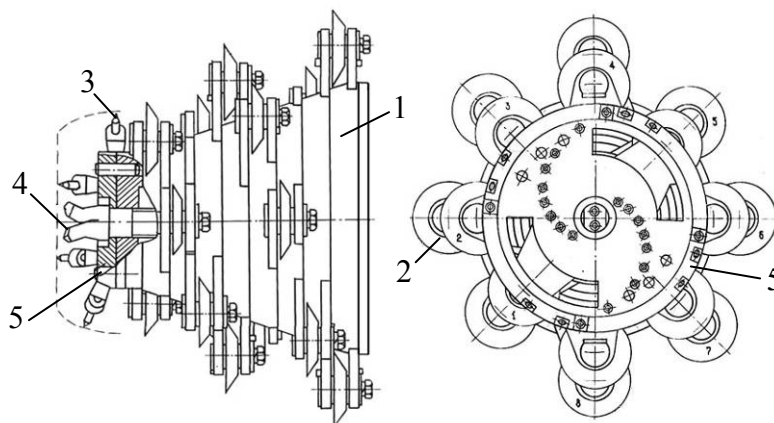


Рис. 1. Базовая конструкция коронки проходческого комбайна с дисковым инструментом

Эта базовая конструкция радиальной коронки проходческого комбайна с дисковым инструментом была испытана в производственных условиях при проведении выработок по рудным и угольным пластам с твердыми включениями и прослойками с пределом прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$ от 87 до 112 МПа) [4].

На рис. 2 представлена конечно-элементная модель двухопорного узла крепления дискового инструмента для базовой конструкции коронки проходческого комбайна для установления параметров напряженного состояния при учете характеристики разрушаемого массива $\sigma_{сж} = 50 \div 140$ МПа [6]. При моделировании использованы четыре варианта конструкций дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм (три биконических с углами заострения: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $\varphi = 30^\circ$).

Расчет проводился в системе SolidWorks Simulation. При создании сетки использовались параболические конечные элементы в форме тетраэдров. Размер конечных элементов выбирался таким образом, чтобы дальнейшее повышение плотности сетки не оказывало существенного влияния на результаты расчетов. Материал деталей – 35ХГСА. Усилия резания P_z , внедрения P_y и бокового усилия P_x на дисковых инструментах определены с учетом конструктивных, режимных параметров и характеристик разрушаемого массива $\sigma_{сж}$. Расчетные усилия нагружения P_z , P_y , P_x прикладывались к конечно-элементным моделям (рис. 2) дисковых инструментов в двухопорных узлах крепления, для получения картины напряженно-деформированного состояния для биконических и конических дисковых инструментов (рис. 3) [6, 7].

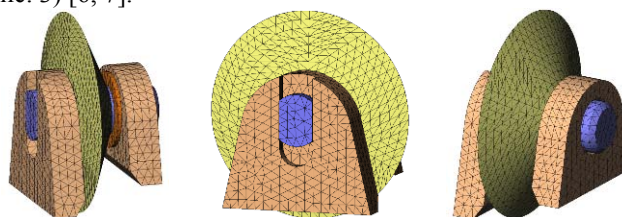


Рис. 2. Конечно-элементная модель двухопорного узла крепления дискового инструмента

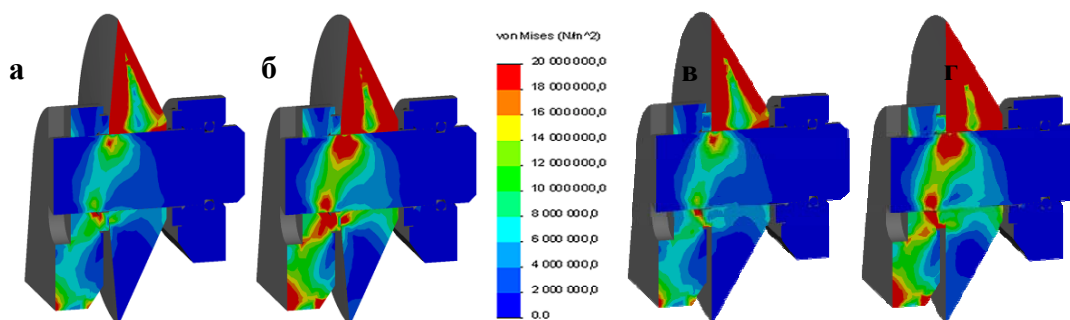


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в двухопорных узлах крепления: - биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) для условий: а – $\sigma_{сж} = 70$ МПа; б – $\sigma_{сж} = 120$ МПа; - конического дискового инструмента ($\varphi = 30^\circ$) для условий: в – $\sigma_{сж} = 70$ МПа; г – $\sigma_{сж} = 120$ МПа

Основной недостаток базовой конструкции коронки проходческого комбайна, по результатам производственных испытаний, заключается в заштыбровке межопорных пространств узлов крепления дискового инструмента продуктами разрушения и их налипание на рабочие поверхности корпуса коронки, что снижает эффективность процессов разрушения и погрузки горной массы на стол питателя проходческого комбайна.

Для исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия предложено использовать дисковые инструменты на трехгранных призмах в конструкции реверсивных радиальных продольно-осевых коронок (рис. 4) [8–14].

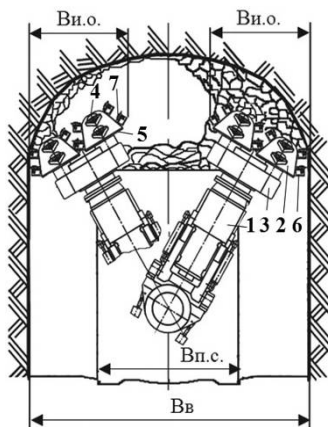


Рис. 4. Двухкорончатый исполнительный орган проходческого комбайна с дисковым инструментом на трехгранных призмах

Исполнительный орган проходческого комбайна (рис. 4) содержит стрелу 1, на которой установлены две разрушающе-погрузочные коронки 2, кинематически связанные между собой через редукторный редуктор 3. Каждая коронка 2 состоит из усеченных конусов или призм с малым основанием 4 и большим основанием 5, ступица которого прикреплена к выходному валу редуктора 3. К наружным поверхностям коронок прикреплены трехгранные призмы 6 с дисковыми инструментами 7. Кинематическая редукторная связь позволяет трехгранным призмам 6 коронок 2 при вращении создавать пространственные лабиринты и коридоры, обеспечивающие совмещение процессов разрушения, дробления и погрузки в пределах проектной ширины V_b проводимой выработки. С учетом прибортовой рабочей ширины исполнительного органа $V_{и.о.}$ и ширины стола питателя погрузочного устройства проходческого комбайна $V_{п.с.}$.

В настоящее время на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева совместно с кафедрой горно-шахтного оборудования ЮТИ (филиал) НИ ТПУ ведутся исследования напряженно-деформированного состояния различных конструкций консольных узлов крепления дискового инструмента по методу конечных элементов. Результаты представлены на рис.5 и 6 [7, 15]

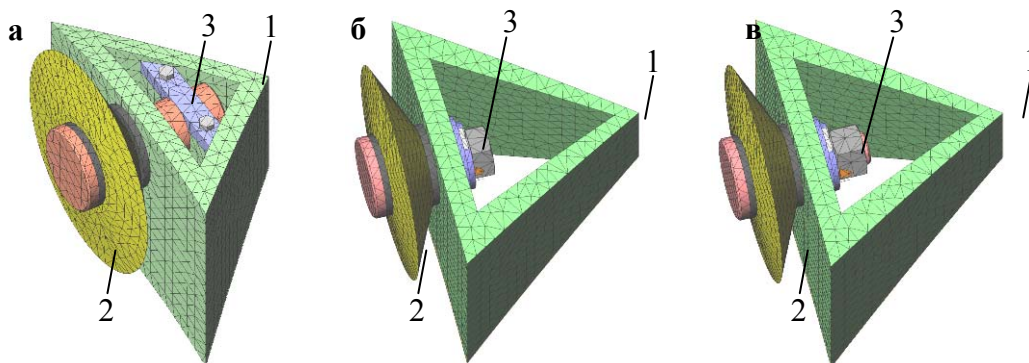


Рис. 5. Конечно-элементные модели трех вариантов узлов крепления дисковых инструментов: а – первый с планкой-замком; б – второй с крепежным винтом; в – третий с гайкой; 1 – трехгранная призма; 2 – дисковый инструмент; 3 – узел крепления

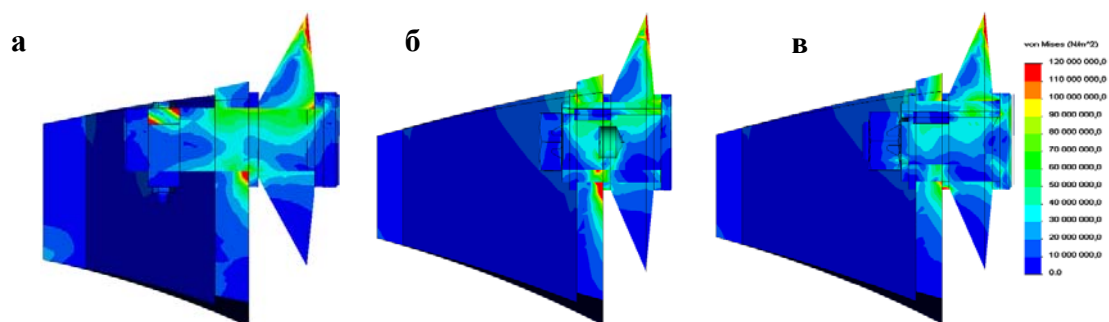


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса для трех вариантов узлов крепления дисковых инструментов с углом заострения $\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$ в трехгранных призмах с учетом характеристики разрушаемого массива $\sigma_{сж} = 70$ МПа: а – первый с планкой-замком; б – второй с крепежным винтом; в – третий с гайкой

Во всех конструктивных вариантах узлов крепления использованы биконические и конические дисковые инструменты. Порядок построения конечно-элементных моделей и расчет усилий нагружений P_z , P_y , P_x аналогичны описанным выше для двухопорных узлов крепления дискового инструмента. В качестве примера на рис. 6 представлены распределения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса для трех вариантов узлов крепления дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм в трехгранных призмах.

Представленные технические решения консольных узлов крепления дискового инструмента на трехгранных призмах, с учетом результатов моделирования напряженно-деформированного состояния при разрушении забойных массивов, позволяют рекомендовать их для оснащения рабочих органов проходческих, очистных и буровых комбайнов.

Технические решения и результаты исследований получены в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 “Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе”.

Заключение

Установлено, что эквивалентные напряжения по критерию Мизеса во всех конструктивных вариантах узлов крепления дискового инструмента радиальных коронок проходческих комбайнов существенно ниже предела текучести для стали 35ХГСА ($\sigma_T = 490$ МПа). С переходом от асимметрии к симметрии биконических дисковых инструментов прослеживается снижение параметров зон эквивалентных напряжений в узлах крепления при общем увеличении максимальных напряжений с ростом прочности горных пород в широком диапазоне $\sigma_{сж} = 50\text{--}120$ МПа.

Выявлено, что, дисковые инструменты конического ($\varphi = 30^\circ$) и биконического исполнений ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) реализуют процесс разрушения с большими размерами зон максимальных эквивалентных напряжений и перемещений, чем варианты биконического исполнения ($\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$ и $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$), а минимальные размеры зон эквивалентных напряжений и перемещений отмечены для биконического исполнения ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$).

Отмечено снижение размеров зон максимальных эквивалентных напряжений и перемещений на забойной грани трехгранной призмы, обращенной к забою в третьем варианте узла крепления дискового инструмента, по сравнению со вторым вариантом, что характеризует более высокую жесткость крепления гайкой.

Сформулированы требования к конструкциям исполнительных органов с двумя реверсивными радиально-осевыми коронками, базой для создания которых предложено использовать комплекс технических решений по узлам крепления дисковых инструментов в трехгранных призмах и результаты моделирования напряженно-деформированного состояния для расширения области применения проходческих комбайнов избирательного действия.

Литература

1. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V.V. Aksenov, A.B. Efremkov, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 16-19.

2. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER / V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 20-23.
3. Безвзрывные технологии открытой добычи полезных ископаемых / А. Р. Маттис [и др.]; отв. ред. В. Н. Опарин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела, Ин-т горного дела Севера; Урал. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.
4. Перспективы применения дискового инструмента для коронок проходческих комбайнов / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, В. В. Кузнецов, А. Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – Кемерово, 2010. – № 1. – С. 52–54.
5. Опыт эксплуатации рабочего инструмента исполнительных органов горных машин на шахтах Кузбасса / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, П.Д. Крестовоздвиженский // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 8–11.
6. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2012. – № 6. – С. 34–40.
7. Разработка реверсивных коронок для проходческих комбайнов с дисковым инструментом на сменных трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков, А.В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 40–44.
8. Исполнительный орган проходческого комбайна для совмещения процессов разрушения забоя с дроблением негабаритов и погрузкой горной массы / В.И. Нестеров, Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2012. – № 3. – С. 112–117.
9. Устройства для улучшения процессов зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 11–16.
10. Пат. 2455486 РФ, МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Кузнецов В.В., Мухортиков С.Г. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева" (КузГТУ). – № 2010141881/03 ; заявл. 12.10.2010 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19. – 14 с.
11. Пат. 128898 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Узел крепления дискового инструмента в трехгранной призме / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Мухортиков С.Г., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013100882/03 ; заявл. 09.01.2013 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 2 с.
12. Пат. 134586 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Устройство для защиты внутреннего пространства трехгранной призмы от продуктов разрушения / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013127350/03 ; заявл. 14.06.2013 ; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. – 2 с.
13. Пат. 138704 РФ : МПК Е 21 С 35/22, Е 21 F 5/04 (2006.01). Устройство пылеподавления для дискового инструмента на трехгранной призме / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013135405/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8. – 2 с.
14. Пат. 141339 РФ : МПК Е 21 С 27/00 (2006.01). Узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна / Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014103560/03 ; заявл. 03.02.2014 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15. – 3 с.
15. Совершенствование конструкций узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
16. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЧЕТЫРЕХГРАННЫХ ПРИЗМАХ МЕЖДУ АКСИАЛЬНЫМИ КОРОНКАМИ

*А.А. Хорешок *,**, д.т.н., проф., Л.Е. Маметьев *, д.т.н., проф., А.Ю. Борисов *, ст. преп., А.В. Воробьев **, к.т.н., доц.*

**Кузбасский государственный технический университет,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. +7 (3842) 396940*

***Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

**** Институт угля Сибирского отделения РАН,
650065, г. Кемерово, пр-т, Ленинградский, 10, тел. +7 (3842) 452063*

E-mail: haa.omit@kuzstu.ru, bau.asp@rambler.ru, vorob@tpu.ru

Введение

Развитие технического прогресса на угольных шахтах, увеличение скорости подвигания фронта очистных работ, внедрение комплексной механизации и автоматизации технологических процессов добычи угля подземным способом выдвигают повышенные требования к техническому уровню проходческого оборудования, в том числе и с целью снижения удельных энергозатрат в процессе проведения горных выработок [1, 2]. Горно-геологические и горнотехнические условия проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России весьма разнообразны и изменяются не только в пределах одного региона, но и одной шахты. Различия в мощности и углах падения угольных пластов, способах вскрытия и нарезки шахтных полей, физико-механических свойствах вмещающих пород, глубине залегания, водообильности и газовыделении определяют многообразие типов поперечных сечений, технологий и средств механизации при проведении подготовительных выработок.

Опыт создания и эксплуатации стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия позволил выявить и сформулировать как преимущества, так и недостатки многочисленных технических решений и разработок, используемых в горном деле и подземном строительстве [3].

К основным преимуществам корончатых стреловидных исполнительных органов относятся:

- возможность реализации селективной выемки неоднородно-структурных забойных массивов, например, углепородных;
- обеспечение широкого спектра форм и сечений проводимых горных выработок, удобных для последующего крепления и прокладки жизнеобеспечивающих коммуникаций;
- расширение области применения проходческой техники на механизацию процессов добычи при камерно-столбовой технологии отработки угольных пластов;
- совмещение процессов разрушения и погрузки горных пород с различными физико-механическими свойствами;
- обеспечение обзорности разрушаемого забоя и призабойного рабочего пространства с улучшением режимов проведения технических осмотров, ремонтов при беспрепятственном отъезде из призабойного пространства;
- возможность взаимодействия с различными самоходными механизмами и машинами, как напольного, так и подвесного монорельсового расположения при формировании проходческо-очистных механизированных комплексов;
- возможность реализации режимов бурения технологических скважин и образования боковых камер в бортах выработок, а также лунок под крепь и дренажных канавок.

К основным недостаткам проходческих комбайнов избирательного действия относятся:

- консольное расположение стреловидных исполнительных органов к базовому корпусу комбайна, создающее предпосылки к потере устойчивости на интенсивных режимах эксплуатации;
- резкое снижение производительности при переходе от угольных компонентов разрушения забоев к породным в проводимых горных выработках;
- высокая динамичность, вибрация, шум, запыленность рабочего пространства и низкий срок службы породоразрушающего инструмента, корпусов коронок, погрузочно-транспортующих элементов различных погрузочных устройств;
- низкая погрузочная способность в прибортовых пространствах;
- низкая эффективность дробления негабаритов в призабойном пространстве на почве выработки в зоне приемного стола питателя погрузочного устройства;

- повышенная опасность и аварийность при проходке горных выработок в неустойчивых самообрушающихся забойных массивах и плывунах;
- низкая эффективность режимов забуривания и зарубки в забойный массив коронками исполнительного органа на ширину поперечного захвата для очередного цикла проходки.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия с продольно-осевыми коронками более точно оконтуривают забой, не допуская значительных переборов породы и, механизмируют такие операции, как проведение водосточных канавок, образование приямков для крепи и, по своей форме и размерам, лучше приспособлены к селективной выемке.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия с поперечно-осевыми коронками при доминировании горизонтальных перемещений характеризуются значительно более благоприятной силовой картиной нагружения с повышением устойчивости корпусных подсистем и электропривода подсистем привода, снижением динамической нагруженности элементов силовых подсистем, особенно при проведении выработок по крепким и структурно неоднородным породам.

Полный цикл обработки забоя арочной формы аксиальными коронками включает значительное количество последовательных операций: фронтальная зарубка; вертикальная зарубка; боковой рез. Возможна также схема обработки забоя вертикальными полосами.

Анализ процессов зарубки исполнительного органа показывает, что эти процессы могут быть реализованы путем: выдвигания стрелы на забой - фронтальная зарубка; подъема исполнительного органа - вертикальная зарубка вверх; опускания исполнительного органа - вертикальная зарубка вниз [4].

Основное преимущество исполнительных органов с поперечно-осевыми коронками по сравнению с продольно-осевыми коронками заключается в более благоприятной устойчивости комбайна при разрушении забойных массивов.

Основные недостатки исполнительного органа этого типа:

- ниже качество обработки забоя, чем при работе с продольно-осевой коронкой, что отрицательно сказывается на трудоемкости процесса крепления выработки и ее устойчивости;
- невозможность проведения водосточной канавки и ухудшение условий селективной выемки полезного ископаемого.

Таким образом, для обоих типов корончатых исполнительных органов основными недостатками являются: низкое качество поверхности и точности контура выработки, что отрицательно сказывается на возможности механизации процесса крепления.

Основным недостатком многочисленных исполнительных органов проходческих комбайнов с поперечно-осевыми исполнительными органами является низкая производительность процесса зарубки из-за наличия неразрушаемого целика забойного массива в межкорончатом пространстве (рис. 1, 2).

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева для повышения эффективности процесса зарубки исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия с поперечно-осевыми аксиальными коронками, разделенными друг от друга корпусом раздаточного редуктора, предложено в межкорончатой зоне размещать дисковые инструменты на четырехгранных призмах.

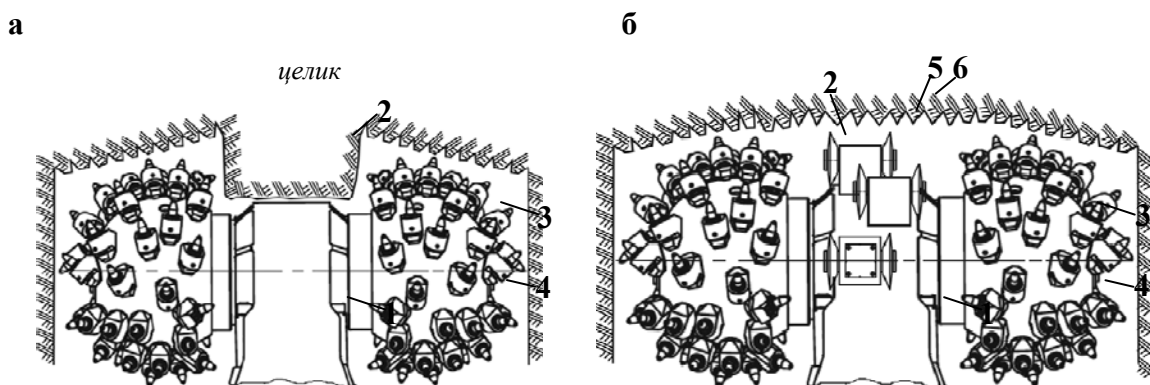


Рис. 1. Зарубка исполнительных органов: а – типового аналога; б – при использовании дисковых инструментов с четырехгранными призмами на раздаточном редукторе

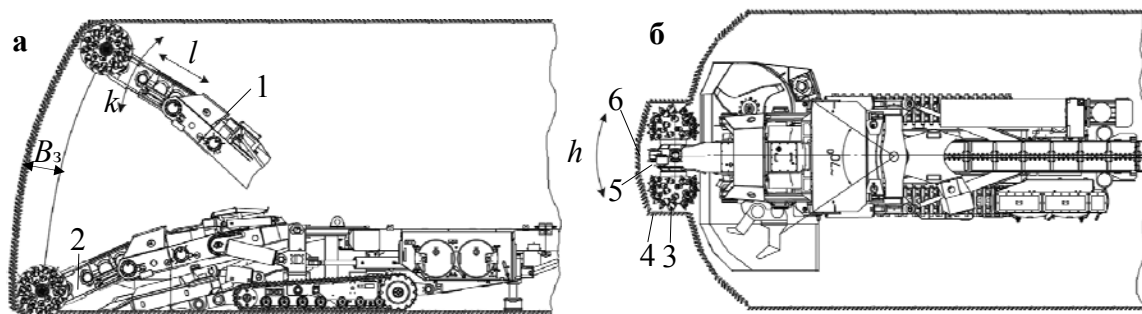


Рис. 2. Схема работы проходческого комбайна избирательного действия:
а – вид сбоку при зарубке; б – вид сверху после зарубки

На базе этой идеи разработаны технические решения [5–7], позволяющие повысить эффективность процесса зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия с аксиальными коронками, например П110, КП220.

В процессе зарубки (рис. 1, 2) стрела 1 исполнительного органа с раздаточным редуктором 2, аксиальными коронками 3, резами 4, четырехгранными призмами 5 с дисковыми инструментами 6 совершают вертикально-поворотные строгальные движения с одновременной телескопической раздвижностью на забой. При этом целик (рис. 1, а), который образуется при работе типовых исполнительных органов-аналогов, разрушается в межкорончатом пространстве дисковыми инструментами 6 на четырехгранных призмах 5 (рис. 1, б). Часть корпуса раздаточного редуктора 2 стрелы 1 обращена к поверхности забоя и выполнена в виде цилиндрического сектора, на наружной поверхности которого установлены в шахматном порядке четырехгранные призмы 5 с дисковыми инструментами 6, вписываясь в пространство разрыва между линиями резания, образованными крайними резами 4 со стороны больших оснований аксиальных коронок 3. При этом радиальный вылет клиновых режущих кромок дискового инструмента 6 не превышает радиальный вылет крайних резов 4 на больших основаниях аксиальных коронок 3. Это позволяет эффективно зарубаться на ширину захвата B_z (рис. 2, а) при движении стрелы 1 во время зарубки в вертикальной плоскости по стрелке k с телескопической раздвижностью по стрелке l . При ступенчатой обработке забоя аксиальными коронками 3 осуществляется поворотное движение стрелы 1 по стрелке h (рис. 2, б) в горизонтальной плоскости к правому или левому бортам выработки.

Совместно с кафедрой горно-шахтного оборудования ЮТИ ТПУ разработан порядок построения конечно-элементных моделей и расчет усилий нагружений P_z , P_y , P_x для дискового инструмента с узлами крепления на четырехгранных призмах, который был апробирован ранее в исследованиях реверсивных радиальных коронок с дисковым инструментом на трехгранных призмах [8, 9]. На рис. 3 представлена конечно-элементная модель четырехгранной призмы с дисковыми инструментами образующими дополнительную зону разрушения в межкорончатом пространстве исполнительного органа проходческого комбайна. За исходные условия для расчета параметров напряженного состояния были выбраны диапазоны характеристик разрушаемых забойных массивов: угольного ($\sigma_{сж} = 12,4; 13,5; 14,8$ МПа) и породного ($\sigma_{сж} = 51; 60,6; 78,9$ МПа). При моделировании использованы четыре варианта конструкций дискового инструмента диаметром $D = 160$ мм (три биконических с углами заострения: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$; $15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ и один конический $\varphi = 30^\circ$).

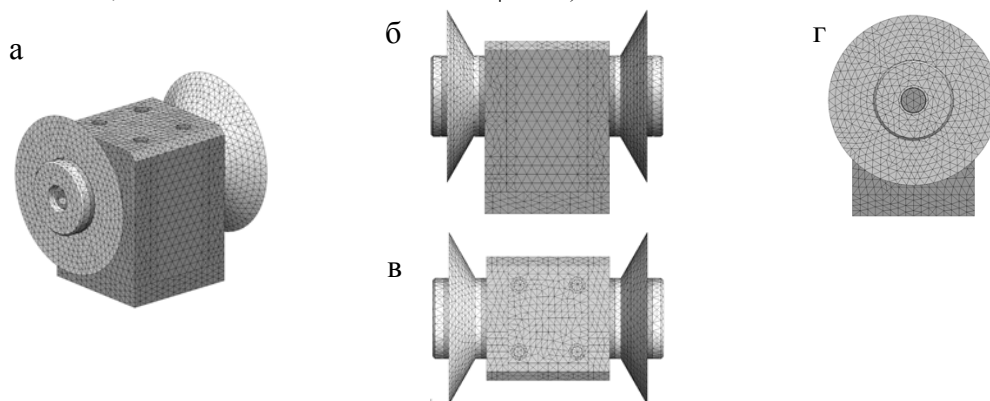


Рис. 3. Конечно-элементная модель четырехгранной призмы с дисковыми инструментами

Расчет проводился в системе SolidWorks Simulation. При создании сетки использовались параболические конечные элементы в форме тетраэдров. Размер конечных элементов выбирался таким образом, чтобы дальнейшее повышение плотности сетки не оказывало существенного влияния на результаты расчетов. Материал деталей – 35ХГСА, Ст. 45. Усилия резания P_z , внедрения P_y и бокового усилия P_x на дисковых инструментах определены с учетом конструктивных, режимных параметров и характеристик разрушаемого массива $\sigma_{сж}$. Расчетные усилия нагружения P_z , P_y , P_x прикладывались к конечно-элементным моделям (рис. 3) дисковых инструментов с узлами крепления в четырехгранных призмах для получения картины напряженно-деформированного состояния для биконических и конических дисковых инструментов (рис. 4).

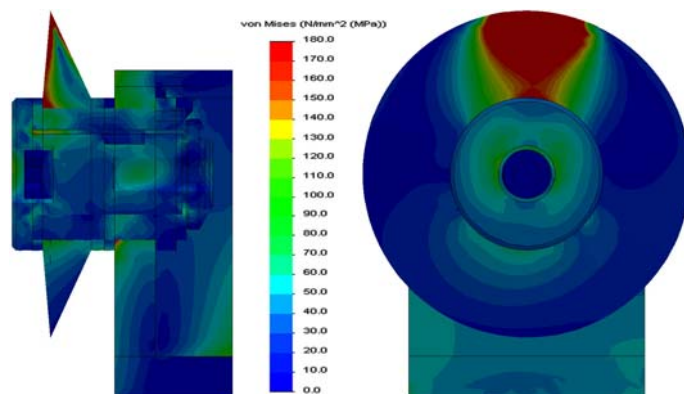


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) при разрушении породного массива $\sigma_{сж} = 78,9$ МПа

На базе основных конструктивных решений, изложенных в публикациях [5–7] предложено оригинальное техническое решение [10], включающее четырехгранные призмы со спаренными дисковыми инструментами, выполненные в виде единого сборно-разборного конструктивного блока с возможностью совместного свободного вращения относительно неподвижных цапф-втулок. Его реализация обеспечивает совместное вращение двух дисковых инструментов на каждой четырехгранной призме с уменьшением процесса их заклинивания и износа при зарубке стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна в горный массив.

Технические решения и результаты исследований получены в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 “Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе”.

Заключение

Выявлено, что, при статическом нагружении всех рассмотренных вариантов узлов крепления дискового инструмента на четырехгранных призмах корпусов раздаточных редукторов исполнительных органов с аксиальными резцовыми коронками, картина распределения напряжений идентична с максимальным уровнем на периферии обода дискового инструмента в зоне контакта с разрушаемым массивом и постепенным снижением до минимального уровня в направлении приближения к цапф-втулке и оси с упорным буртиком.

Установлено, что минимальный уровень эквивалентных напряжений при разрушении как угольных ($\sigma_{сж} = 12,4; 13,5; 14,8$ МПа), так и породных ($\sigma_{сж} = 51; 60,6; 78,9$ МПа) забойных массивов обеспечен установкой на узлах крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$ и $\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$), а максимальный уровень эквивалентных напряжений отмечен при использовании конического дискового инструмента ($\varphi = 30^\circ$).

Определено, что при изменении углов заострения в конструкциях биконического дискового инструмента от асимметричного ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$; $\varphi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$) до симметричного ($\varphi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) достигается снижение расчетного уровня максимальных эквивалентных напряжений у последних для всех вариантов нагружения.

Доказано, что при статическом моделировании по методу конечных элементов процессов разрушения углепородных забойных массивов в диапазоне предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 12,4 \div 78,9$ МПа показатели напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов дискового

инструмента с узлами крепления по всем техническим решениям обеспечивают гарантированный запас прочности для принятых марок сталей (35ХГСА, Ст. 45).

Рекомендована комбинированная схема набора дискового инструмента на корпусе раздаточного редуктора между аксиальными коронками исполнительного органа проходческого комбайна с размещением конических дисков в центральной зоне, а биконических дисков в остальных зонах по ширине межкорончатого пространства.

Литература.

1. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V.V. Aksenov, A.B. Efremkov, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 16-19.
2. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER / V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 20-23.
3. Улучшение разрушающе-погрузочной способности проходческого комбайна избирательного действия / Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю. // Научно-технический журнал «Горный инженер». – 2013. – № 1. – С. 102–110.
4. Перспективы создания проходческих комбайнов нового технического уровня
5. <http://library.stroit.ru/articles/combain2/index.html>
6. Пат. 136086 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013135402/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 3 с.
7. Устройства для улучшения процессов зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 11–16.
8. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.
9. Совершенствование конструкций узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-в. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
10. Разработка реверсивных коронок для проходческих комбайнов с дисковым инструментом на сменных трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков, А.В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 40–44.
11. Пат. 146845 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Дисковый инструмент проходческого комбайна / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014109201/03 ; заявл. 11.03.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. – 2 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА С ГЕОСРЕДОЙ

*В.Ю. Садовец******, к.т.н, доц., *В.В. Аксенов******, д.т.н., *В.Ю. Бегляков**, к.т.н, доц.

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,

***Институт угля СО РАН, г. Кемерово,*

****Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, Ул. Ленинградская, 26. р.т. 8-(384-51)-6-05-37.*

E-mail: vsadovec@yandex.ru; begljakov@rambler.ru

Проведение горной выработки рядом авторов [1,2] рассматривается как процесс движения твердого тела в твердой среде. Данный подход лежит в основе геовинчестерной технологии проведения горных выработок, базовым функциональным элементом которой является геоход.

Для проходки подземных выработок на малых глубинах в неустойчивых породах с применением геохода для разрушения необходимо использовать ножевой исполнительный орган. Отсутствие

методики расчета ножевого исполнительного органа различного конструктивного решения является сдерживающим фактором при создании геохондв.

Своеобразный характер перемещения геохондв на забой обуславливает формирование сложной формы поверхности не только самого забоя, но и исполнительного органа (ИО) [3]. Поверхность забоя, при разрушении его ИО геохондв, имеет вид нескольких геликоидных поверхностей с уступами [4].

Любая точка ножа расположенная на расстоянии x (рисунок 1) от оси вращения геохондв, перемещается на забой под углом:

$$\beta_x = \arctg \frac{h_B}{2\pi x} \quad (1)$$

Точки ножа, находящиеся ближе к оси вращения геохондв перемещаются на забой под большим углом, чем точки находящиеся на периферии ножа (рисунок 2, а). Таким образом, при винтовом перемещении ножевого ИО геохондв на забой точки радиального ножа образуют геликоидную (винтовую) поверхность. Следовательно, участок поверхности забоя в секторе между смежными радиальными ножами после их прохода принимает вид винтовой поверхности.

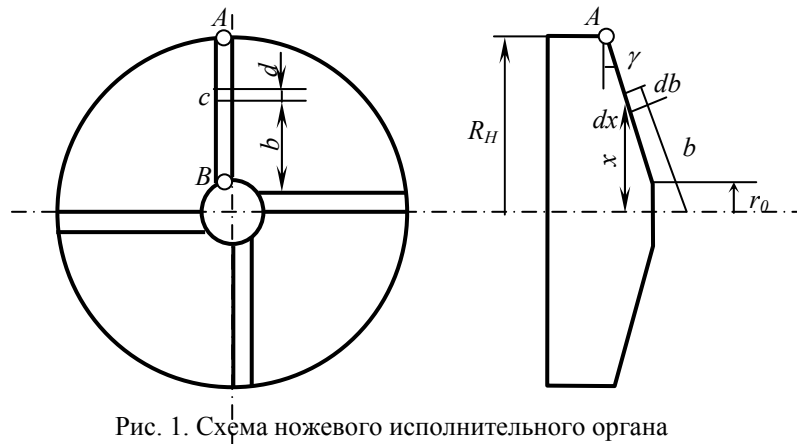


Рис. 1. Схема ножевого исполнительного органа

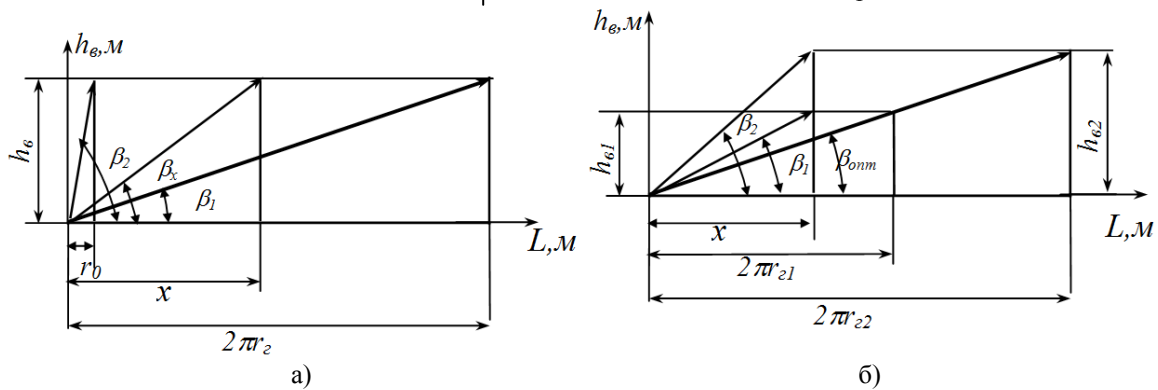


Рис. 2. Направление движения точек ножа ИО геохондв в зависимости: a – от расположения на радиальном ноже; b – от типоразмера геохондв

Кроме того, если при каком-то оптимальном угле наклона винтовой лопасти внешнего движителя (β_{omm}) увеличить радиус головной секции геохондв, то любая точка, находящаяся на расстоянии x от центра геохондв, должна будет проходить за один оборот расстояние h_{e2} отличное от h_{e1} , при этом угол наклона β_2 будет отличен от β_1 (рисунок 2, б). Следовательно, геометрические параметры геликоида, по форме которого выполняется профиль радиального ножа ИО геохондв зависят от параметров внешнего движителя (r_2 – радиус головной секции геохондв, h_e – шаг винтовой лопасти, β – угол наклона винтовой лопасти.) и являются индивидуальными для каждого типоразмера геохондв.

Высота формируемого уступа h зависит от шага винтовой лопасти и количества радиальных ножей, установленных на ИО геохондв:

$$h = \frac{h_B}{n} \quad (2)$$

где n – количество ножей на ИО.

На основе сформированных фрагментов структурного портрета [4,5], основанных на интеграционном подходе, были разработаны конструктивные решения ножевого ИО геохода [5].

Поскольку геоход – аппарат, движущийся в подземном пространстве с использованием геосреды, то его ИО будет разрушать (резать) как сыпучие, так и плотные породы. Тогда рациональное число ножей ИО геохода должно выбираться из интервала [6]:

$$n = \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot 2\pi r_2}{0,1 \div 0,2} \quad (3)$$

Расположение радиальных ножей относительно оси агрегата влияет на силы резания возникающие в процессе разрушения массива горных пород. При резании одним радиальным ножом ИО геохода всю силу заблокированного резания можно представить в виде суммы трех составляющих сил (рисунок 3) [7]:

1 Силы для преодоления сопротивления грунта передней гранью ножа $P_{св}$, пропорциональной площади сечения прорези перед передней гранью ножа и зависящей от угла и крепости грунта;

2 Силы для преодоления сопротивлений грунта разрушению в боковых расширениях прорези $P_{бок}$, пропорциональной площади этих частей прорези, зависящей от крепости грунта и не зависящей от угла резания и ширины среза;

3 Силы для преодоления сопротивлений грунта срезу боковыми ребрами ножа у дна прорези $P_{бок, ср}$, пропорциональной толщине среза, зависящей от крепости грунта и не зависящей от ширины среза и угла резания.

Вся сила заблокированного резания простым острым ножом (рисунок 4) [6]:

$$P_{ср} = \varphi m_{св} b h + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок, ср} h, \quad (4)$$

где $\varphi m_{св} b h$ - составляющая силы резания для преодоления лобовых сопротивлений ножу (на рисунке 3 обозначено $P_{св}$), Н;

$2m_{бок} h^2$ - вся сила разрушения грунта в боковых расширениях прорези ($P_{бок}$ на рисунке 3), Н;

$2m_{бок, ср} h$ - силы бокового среза ($P_{бок, ср}$ на рисунке 3), Н;

φ - коэффициент, учитывающий влияние угла резания;

$m_{св}$ - удельная сила резания для преодоления сопротивлений грунта передней гранью при угле резания 45° , Па;

b - ширина ножа, м;

h - глубина резания, м;

$m_{бок}$ - коэффициент, характеризующий силу разрушения грунта в боковых частях прорези, Па;

$m_{бок, ср}$ - коэффициент, характеризующий удельную силу среза одним из боковых ребер ножа, Н/м.

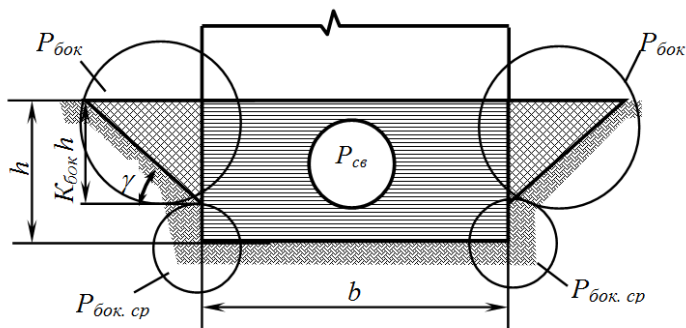


Рис. 3. Схема действия сил при заблокированном резе простым ножом

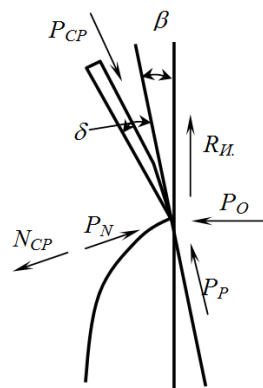


Рис. 4. Расчетная схема к определению полной силы сопротивления грунта резанию ножевым исполнительным органом

Вывод зависимостей для определения усилий резания ножевым ИО геохода представлен в работе [8]
Основные зависимости для определения сил резания представлены ниже.

$$P_{o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^2 + h_6 n P_{узн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right) - ; \quad (5)$$

$$- \frac{h_6}{2\pi} \left(\varphi m_{cв} \frac{h_6}{n} \frac{\operatorname{ctg}(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{узн} \right) \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2}$$

$$R_{u.o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^2 + h_6 n P_{узн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2} + ; \quad (6)$$

$$+ \frac{h_6}{2\pi} \left(\varphi m_{cв} \frac{h_6}{n} \frac{\operatorname{ctg}(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{узн} \right) \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right)$$

$$M_{u.o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^3 + h_6^2 n P_{узн}}{8\pi^2 n \cos \gamma} \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|} + \frac{\cos \beta_2 \sin^2 \beta_1 - \cos \beta_1 \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} \right) + . \quad (7)$$

Проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, независимой от ширины среза, на ось вращения геохода и плоскость, перпендикулярную оси вращения, а также момент сопротивления резанию от этой составляющей

$$P_{o.бок} = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} - (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} ; \quad (8)$$

$$R_{u.o.бок} = (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} + (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} ; \quad (9)$$

$$M_{u.o.бок} = (r_2 \cos \beta_1 + r_o \cos \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} + (r_2 \sin \beta_1 + r_o \sin \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} . \quad (10)$$

Подставив в полученные формулы выражения (5), (6) и (7) и после некоторых преобразований получим

$$P_{o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[- \frac{\cos(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + \cos(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] ; \quad (11)$$

$$R_{u.o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[\frac{\sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] ; \quad (12)$$

$$M_{u.o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[\frac{r_2 \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + r_o \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] \quad (13)$$

Для ножевого ИО геохода полная проекция силы сопротивления грунта резанию на ось вращения геохода и плоскость, перпендикулярную оси вращения, а также полный момент сопротивления резанию, соответственно, равны

$$P_o = n(P_{o.cв} + P_{бок}) ; \quad (14)$$

$$R_{u.o} = n(R_{u.o.cв} + R_{u.o.бок}) ; \quad (15)$$

$$M_{u.o} = n(M_{u.o.cв} + M_{u.o.бок}) . \quad (16)$$

Режущая часть ножевого ИО геохода с зубьями имеет более сложную форму: в нем могут сочетаться простые ножи (зубья), установленные на радиальной штанге. Поэтому для определения сил резания ножевой ИО геохода с зубьями будем рассматривать как сложный нож, состоящий из простых ножей, взаимодействующих между собой.

Взаимодействие простых ножей, входящих в состав сложного ножа, учитывается по величинам совмещения зон разрушения грунта каждым составляющим ножом в отдельности.

Величину силы трения и момента сопротивления трению определяют в зависимости от величины горного давления [9]:

$$T_{ИО} = \frac{\pi f_{ТР} \lambda \gamma_{пор}}{f} \left(1 + 2 \operatorname{tg} \left(45^{\circ} - \frac{\rho}{2} \right) \right) r_2^3; \quad (17)$$

$$M_{Т.ИО} = \frac{2 \pi f_{ТР} \lambda \gamma_{пор}}{3f} \left(1 + 2 \operatorname{tg} \left(45^{\circ} - \frac{\rho}{2} \right) \right) r_2^4, \quad (18)$$

где λ - коэффициент бокового давления; $\gamma_{пор}$ - удельный вес пород, Нм^3 ; f - коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова; ρ - угол внутреннего трения породы, град.

Выводы.

Получена математическая модель взаимодействия ножевых исполнительных органов геоходов с геосредой, базирующаяся на разработанной методике расчета их силовых параметров.

Разработана методика расчета силовых параметров ножевого ИО геохода базирующаяся на аналитически полученных выражениях. Данная методика позволяет определять:

- силы резания на одном радиальном ноже, как без зубьев, так и оснащенного зубьями исполнительного органа геохода;
- силы резания на исполнительном модуле геохода ножевого типа, имеющего различные конструктивные решения.

Геометрические параметры геликоида (l - длина радиального ножа, β_i - угол под которым расположена каждая i -тая точка ножа), по форме которого выполняется профиль радиального ножа ИО геохода, зависят от параметров внешнего движителя (r_2 - радиус головной секции геохода, h_g - шаг винтовой лопасти, β - угол наклона винтовой лопасти.) и являются индивидуальными для каждого типоразмера.

Литература.

1. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. - Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. - 192 с.
2. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. - Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004. - 264 с., ил.
3. Горбунов В.Ф., Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горно-проходческой техники на методику расчета его параметров // Вестник КузГТУ, № 6.1 - Кемерово, 2004, с. 41-43.
4. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений исполнительных органов геоходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 64.
5. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений ножевого исполнительного органа геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 33-37.
6. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геоходов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2010. Т. 3. № 12. С. 49-54.
7. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кемерово, 2007
8. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. - Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.
9. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов // автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. - Кемерово, 2007. с. 17

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.Г. Бояришинов, В.А. Трушков

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Компьютерное моделирование статических и динамических характеристик машин, приборов и аппаратуры, их элементов и деталей является наиболее целесообразным способом анализа напряженно-деформированного состояния, мгновенной и длительной прочности, собственных форм и частот колебаний, отклика на ударные и циклические воздействия и прочих механических показателей как механизмов и конструкций в целом, так и их отдельных составляющих. Вычислительный эксперимент на основе математической модели позволяет получать наиболее полные данные о состоянии механических объектов и параметрах их механического нагружения. Такой подход экономичен и более информативен по сравнению с традиционными экспериментальными методами, позволяет делать оценки аварийных ситуаций, натурное моделирование которых опасно.

Согласно ГОСТ 16962.2-90 [1] допускается оценивать расчетным или расчетно-экспериментальными методами наравне с механическими испытаниями. Это особенно важно, когда масса или габаритные размеры готового изделия не позволяют проводить его испытания на существующем оборудовании, и оно не может быть разделено на отдельные блоки и узлы.

В настоящее время оценка динамических механических характеристик электродвигателей основана на проведении следующих видов механических испытаний [1]:

- определение диапазона частот собственных колебаний конструкции. Оно проводится с целью проверки механических свойств изделий и получения исходной информации для выбора методов испытаний на вибропрочность, виброустойчивость;
- испытания на прочность при кратковременном и длительном воздействии синусоидальной вибрации. Они проводятся для проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры после ее воздействия;
- испытание на ударную устойчивость. Их проводят с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию одиночных ударов с большими ускорениями и выполнять свои функции после воздействия ударов.

Моделирование с помощью современных аппаратных и программных комплексов позволяет заменить перечисленные выше виды механических динамических испытаний конструкций, машин и механизмов проведением следующих вычислительных экспериментов:

- определение спектра частот собственных колебаний электродвигателя для любого заданного диапазона;
- исследование напряженно-деформированного состояния электродвигателя при воздействии кратковременной вибрации, то есть в пределах одного синусоидального цикла;
- определение показателей длительной прочности электродвигателя при воздействии длительной синусоидальной вибрации;
- исследование напряженно-деформированного состояния электродвигателя при воздействии одиночного удара по заданному закону изменения ускорения.

Современное программное обеспечение для выполнения вычислительных экспериментов основывается на фундаментальных законах физики и механики, использует современный аппарат численного решения краевых задач математической физики, что позволяет с высокой достоверностью и низкой погрешностью описывать механические процессы в деталях и конструктивных элементах механизмов и машин, в том числе электродвигателей.

Известно большое количество программных продуктов, предназначенных для выполнения инженерного анализа механических систем и процессов, для исследования напряженно-деформированного состояния, устойчивости, надежности прочности механизмов и машин, строительных конструкций, зданий и сооружений в целом и их отдельных деталей и узлов: Abaqus, APM Winmachine, APM FEM для КОМПАС-3D, MSC Nastran, SolidWorks Simulation, ANSYS и целый ряд других.

Для проведения настоящего исследования выбран конечно-элементный программный комплекс ANSYS, объективно обладающий целым рядом преимуществ:

- этот комплекс отлично зарекомендовал себя в сфере инженерных расчетов; с его помощью возможно решение широкого спектра задач механики деформируемого твердого тела, жидкости и газа;
- имеется возможность распараллеливания расчетов, то есть использовать все преимущества вычислительных кластеров;
- доступно мощное средство автоматизации численного анализа – язык APDL, что существенно упрощает решение задач инженерного анализа;

- подробное руководство пользователя содержит примеры решения конкретных задач;
- опубликован и доступен значительный объем справочной литературы.

Для аппроксимации областей, занимаемых отдельными составляющими двигателя (рис. 1), используются пространственные (трехмерные) конечные элементы SOLID186. Эти конечные элементы реализуют квадратичную аппроксимацию поля перемещения в пределах занимаемой области, содержат по двадцать узлов, каждый из которых имеет три степени свободы.

Характеристики материалов, применяемые для моделирования: плотность пластин статора 6500 кг/м^3 , плотность остального материала деталей двигателя 7850 кг/м^3 , масса двигателя в сборе 750 кг; коэффициент Пуассона 0,3, модуль упругости 210 ГПа, предел прочности 460 МПа, предел текучести 250 МПа. Коэффициент трения качения между поверхностями подшипника принят равным 0,01. Коэффициент трения покоя для прочих контактирующих поверхностей корпуса и деталей принят равный 0,15. Болтовые соединения считаются жёсткими. Они не допускают перемещений.

Граничные условия закрепления модели двигателя соответствуют условиям закрепления прототипа на испытательном стенде.

С использованием модуля модального анализа программного комплекса ANSYS определены резонансные частоты отдельных элементов и двигателя в целом. Собственные частоты, определенные численно и экспериментально, представлены в табл. 1.

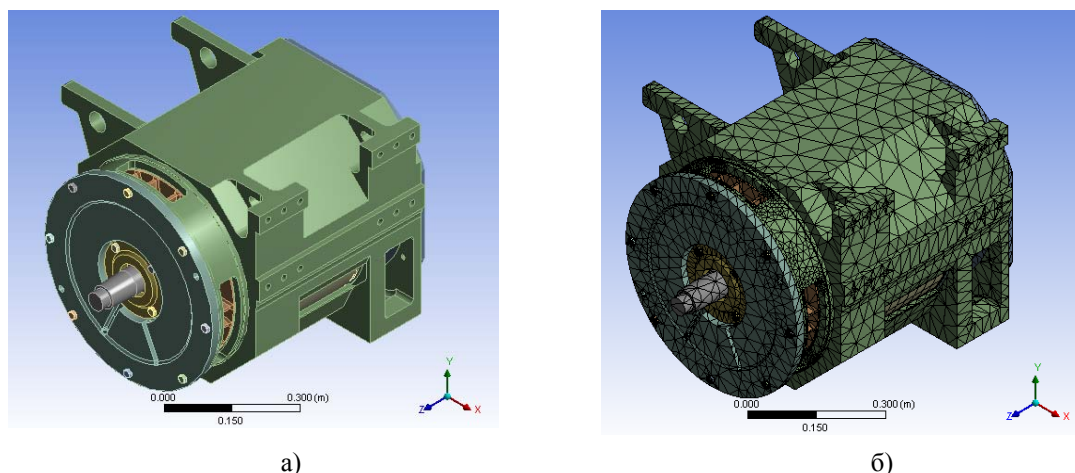


Рис. 1. Геометрическая модель двигателя: общий вид двигателя в сборе (а), аппроксимация с использованием 74865 конечных элементов (б)

Наименьшая резонансная частота всего двигателя в сборе составила 237 Гц. Данная частота значительно выше номинального режима работы 21 Гц, превышает максимальную установленную предприятием изготовителем частоту 60 Гц (3600 об/мин) и превышает верхнюю частоту диапазона требований (100 Гц).

Формы собственных колебаний отдельных частей электрического двигателя представлены на рис. 2.

Таблица 1

Низшие собственные частоты отдельных деталей двигателя

Название элемента двигателя	Низшая собственная частота, Гц		
	без учёта закрепления	с учётом закрепления	по протоколу испытаний
Подшипниковый щит со стороны привода	571,8	453,8	625
Подшипниковый щит с обратной стороны	297,5	237,5	297
Крышка подшипникового щита с обратной стороны	1808,2	397,4	372
Двигатель в сборе	297,5	237,0	–

С использованием модуля гармонического анализа программного комплекса ANSYS выполнены вычислительные работы по исследованию длительной прочности двигателя для границ октав регламентированного диапазона (Гц): 10, 20, 40, 80, 160 Гц.

На рис. 3, а представлены результаты выполнения вычислительного эксперимента по моделированию напряженно-деформированного состояния отдельных элементов двигателя при исследовании вибропрочности. Наибольшее эквивалентное напряжение (по Мизесу) за единичный вибрационный цикл в заднем щите достигает величины 26,06 МПа и при испытании на частоте 160 Гц при амплитуде ускорения 30 м/с^2 .

Согласно данным о длительной прочности материала количество N циклов до разрушения, соответствующее указанному эквивалентному напряжению, составит не менее 10^7 , что превышает число циклов, выполненных при проведении натурных виброиспытаний [3]. Следует ожидать, что рассмотренную вибрационную нагрузку элементы двигателя выдержат без разрушения.

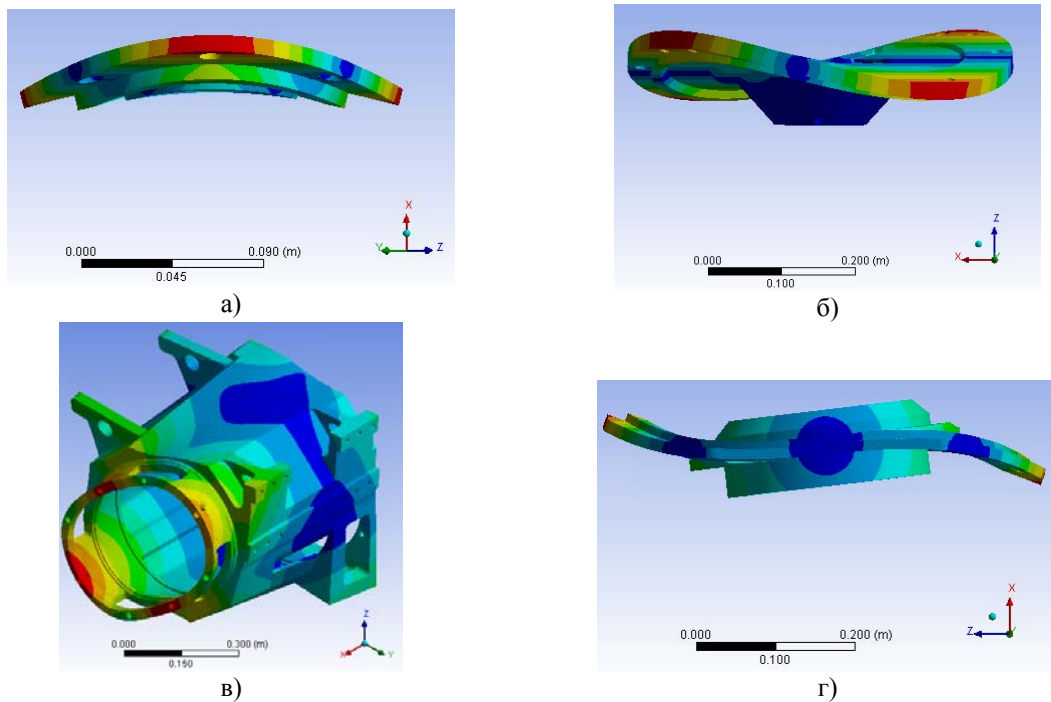


Рис. 2. Формы собственных колебаний элементов электродвигателя: крышка подшипника (а, 1-я форма), передний щит (б, 2-я форма), корпус (в, 3-я форма), задний щит (г, 4-я форма)

С использованием модуля динамического (транзиентного) анализа программного комплекса ANSYS выполнены вычислительные эксперименты по исследованию ударной прочности при нанесении одиночных ударов по корпусу двигателя (вдоль каждой из координатных осей).

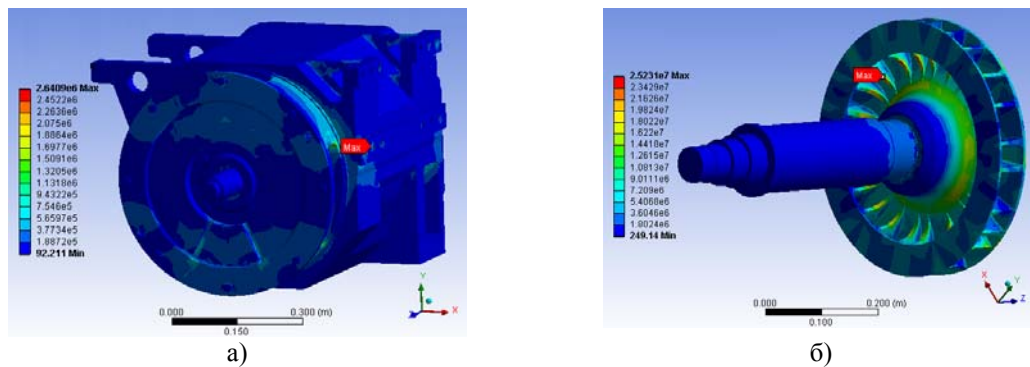


Рис. 3. Результат испытаний электродвигателя на воздействие длительной вибрации (а) и механического удара одиночного действия (б)

Экспериментальные кривые ударных импульсов представлены в протоколе испытаний [3] и аппроксимировались квадратичной параболой вида

$$a = 400 \left[\frac{t}{6 \cdot 10^{-3}} - \frac{t^2}{36 \cdot 10^{-6}} \right] \quad (1)$$

при заданной амплитуде ускорения 100 м/с² и длительности 6 мс согласно требованиям [1].

Для задания граничных условий при моделировании в перемещениях выполнено интегрирование выражения (1) и получены зависимости скорости и перемещения от времени:

$$v = 400 \left[\frac{t^2}{12 \cdot 10^{-3}} - \frac{t^3}{108 \cdot 10^{-6}} \right] \quad (2)$$

$$u = 400 \left[\frac{t^3}{36 \cdot 10^{-3}} - \frac{t^4}{432 \cdot 10^{-6}} \right] \quad (3)$$

Результаты вычислительного эксперимента по моделированию одиночных ударов по двигателю представлены на рис. 3, б. Наибольшее эквивалентное напряжение (по Мизесу) при единичном ударе наблюдается в вентиляторе и составляет 191,05 МПа.

Предел текучести на сжатие (растяжение) составляет $\sigma_T = 250$ МПа, то есть превышает достигаемое при ударе значение эквивалентное напряжение. Рассмотренную ударную нагрузку элементы двигателя выдерживают без разрушения.

Выводы. Обоснована возможность замены динамических механических испытаний электродвигателя вычислительным моделированием с использованием программного комплекса ANSYS.

Литература.

- ГОСТ 16962.2-90 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам
- Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. – М.: КомпьютерПресс, 2002, 2002. – 224 с.
- Двигатель асинхронный тяговый. Протокол испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам. ТХ.221.2787. – Харьков: Гос. предпр. завод «ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ», 2012. – 16 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВЕКТОРОВ И ТЕНЗОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

М.Г. Бояришов

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Для решения практически важных прикладных задач представляет интерес использование математического аппарата интервального исчисления [1, 2, 3], позволяющего учитывать не только погрешности округления чисел при проведении вычислительных экспериментов, но и диапазоны возможных изменений (в случае недетерминированной постановки) свойств материалов, начальных и граничных условий, геометрических и других характеристик.

В монографии [1] для двух скаляров-интервалов $A_1 = \langle a_1, \alpha_1 \rangle$ и $A_2 = \langle a_2, \alpha_2 \rangle$, где a_1 и a_2 – центры, α_1 и α_2 – «радиусы» (полуширины) соответствующих интервалов, определены операции сложения, вычитания, умножения, деления и прочие над скалярами-интервалами. В работе [4] вектор-интервал определяется как множество $\mathbf{A} = \langle \mathbf{a}, \alpha \rangle = \{ \mathbf{u} \in R^3 \mid \|\mathbf{u} - \mathbf{a}\| \leq \alpha \}$, состоящее из всех векторов, заключенных в сферу радиуса $\alpha \geq 0$ с центром, определяемым несущим вектором \mathbf{a} . Аналогично вводится понятие тензора-интервала как множества тензоров $\tilde{\mathbf{T}} = \langle \tilde{\mathbf{t}}, \tau \rangle = \{ \tilde{\mathbf{v}} \in R^3 \times R^3 \mid \|\tilde{\mathbf{v}} - \tilde{\mathbf{t}}\| \leq \tau \}$, заключенных в гиперсферу радиуса τ с центром, определяемым несущим тензором $\tilde{\mathbf{t}}$. Определены основные операции над объектами-интервалами: сложение, вычитание, умножение, в том числе скалярное и двойное скалярное, определены расстояние между

интервальными объектами и их нормы, конструирование векторных и тензорных объектов по их проекциям на векторы базиса.

В качестве примера использования интервального исчисления в прикладных инженерных задачах рассматривается длинный круглый полый цилиндр с внутренним и внешним радиусами $r_1 = 0,2$ м и $r_2 = 1,0$ м. На внутренней поверхности цилиндра поддерживается постоянная температура $t_1 = 100$ °С и давление $p_1 = 10^7$ Па. На внешней поверхности цилиндра температура и давление составляют $t_2 = 20$ °С и $p_2 = 2 \cdot 10^6$ Па соответственно. Для расчетов принято: коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент температурного расширения $\alpha = 0,12 \cdot 10^{-4}$ град⁻¹.

Напряженно-деформированное состояние цилиндра в полярной системе координат описывается уравнениями теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial t(r)}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial t(r)}{\partial r} = 0, \quad (1)$$

равновесия

$$\frac{\partial \sigma_r(r)}{\partial r} + \frac{\sigma_r(r) - \sigma_\varphi(r)}{r} = 0, \quad (2)$$

физическими

$$\begin{aligned} \sigma_r(r) &= E \left[(1 - \mu) \varepsilon_r(r) + \mu \varepsilon_\varphi(r) - \alpha(1 + \mu)t(r) \right] / (1 + \mu)(1 - 2\mu), \\ \sigma_\varphi(r) &= E \left[\mu \varepsilon_r(r) + (1 - \mu) \varepsilon_\varphi(r) - \alpha(1 + \mu)t(r) \right] / (1 + \mu)(1 - 2\mu), \end{aligned} \quad (3)$$

и кинематическими

$$\varepsilon_r(r) = \partial u(r) / \partial r, \quad \varepsilon_\varphi(r) = u(r) / r \quad (4)$$

с граничными условиями

$$t(r) \Big|_{r=r_1} = t_1, \quad t(r) \Big|_{r=r_2} = t_2; \quad (5)$$

$$\sigma_r(r) \Big|_{r=r_1} = -p_1, \quad \sigma_r(r) \Big|_{r=r_2} = -p_2. \quad (6)$$

Температурное поле цилиндра $t(r)$ описывается уравнением (1) стационарной теплопроводности и для граничных условиях (5) при условии $\lambda = const$ имеет решение [5]

$$t(r) = (t_1 \ln r_2 / r + t_2 \ln r / r_1) / \ln r_2 / r_1.$$

Полагая температуру на внутренней поверхности цилиндра интервальной величиной $T_1 = \langle t_1, 0, 1t_1 \rangle$ с центральным значением t_1 и радиусом $0,1t_1$, на внешней поверхности цилиндра – интервальной величиной $T_2 = \langle t_2, 0, 1t_2 \rangle$ с центральным значением t_2 и радиусом $0,1t_2$, решение в интервальной форме может быть представлено в виде:

$$T(r) = \frac{\ln r_2 / r}{\ln r_2 / r_1} T_1 + \frac{\ln r / r_1}{\ln r_2 / r_1} T_2 = \left\langle \frac{\ln r_2 / r}{\ln r_2 / r_1} t_1 + \frac{\ln r / r_1}{\ln r_2 / r_1} t_2, 0, 1 \left| \frac{\ln r_2 / r}{\ln r_2 / r_1} t_1 \right| + 0, 1 \left| \frac{\ln r / r_1}{\ln r_2 / r_1} t_2 \right| \right\rangle.$$

На рис. 1 приведена зависимость от координаты r температуры цилиндра (при задании граничных условий точечными значениями); здесь же указаны границы интервального представления температуры при изменении температуры на границах в заданных диапазонах.

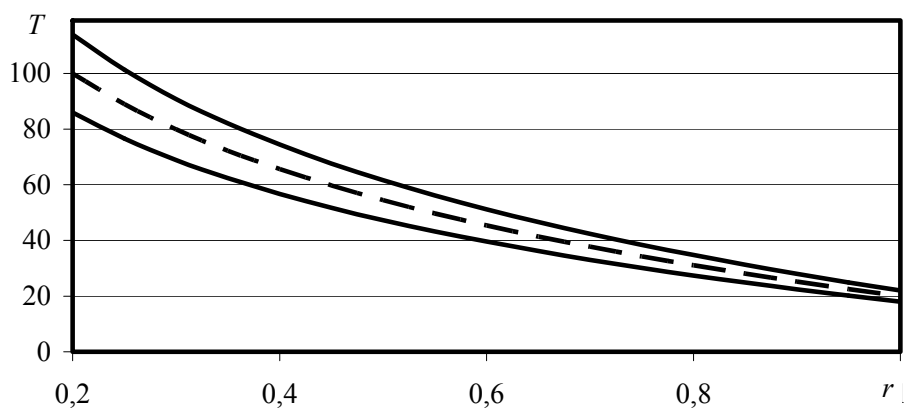
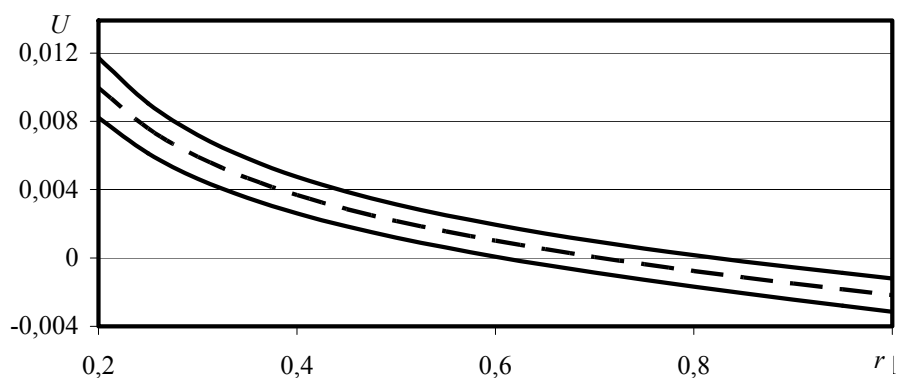
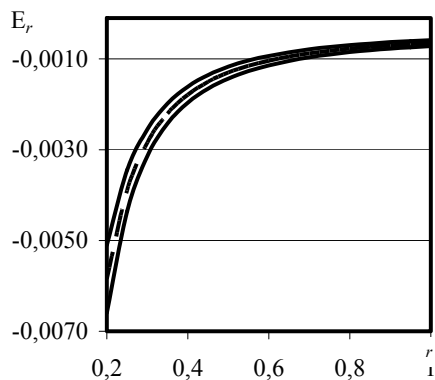


Рис. 1. Зависимость от координаты r температуры T , °С и пределов ее изменения; пунктирные линии – заданы температуры t_1 и t_2 , сплошные линии – интервальные значения $\langle t_1, 0,1t_1 \rangle$ и $\langle t_2, 0,1t_2 \rangle$ на границах

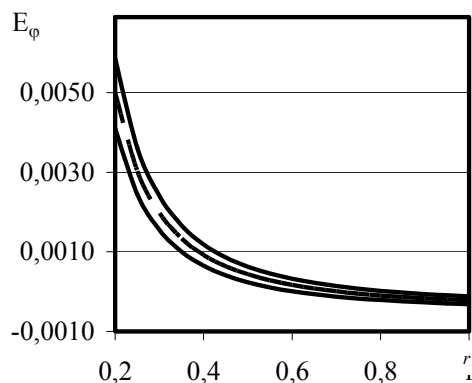
Напряженно-деформированное состояние холодного цилиндра, находящегося под действием внутреннего p_1 и внешнего p_2 давлений описывается системой уравнений (2)–(4) с граничными условиями (6). Решение такой задачи для «точечных» граничных условий приведено в [6, 7].



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимости от координаты r перемещения U (б, мм) и пределов его изменения; компонент E_r (б, %) и E_φ (в, %) тензора деформации и пределы их изменения; пунктирные линии – заданы давления p_1 и p_2 , сплошные линии – интервальные значения давления $\langle p_1, 0,1p_1 \rangle$ и $\langle p_2, 0,1p_2 \rangle$ на границах

Принимая давление на внутренней поверхности интервальной величиной $P_1 = \langle p_1, 0, 1p_1 \rangle$ с центральным значением p_1 и радиусом $0,1p_1$, давление на внешней поверхности – интервальной величиной $P_2 = \langle p_2, 0, 1p_2 \rangle$, решение этой же задачи в интервальной форме записывается в виде:

$$U(r) = \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1+\mu)}{E} r_1^2 P_1 - \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1+\mu)}{E} r_2^2 P_2,$$

$$E_r(r) = \frac{(1+\mu)r_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 - r_2^2}{r^2} P_1 + \frac{(1+\mu)r_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{r_1^2 - (1-2\mu)r^2}{r^2} P_2,$$

$$E_\varphi(r) = \frac{(1+\mu)r_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r^2} P_1 - \frac{(1+\mu)r_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r^2} P_2,$$

$$\Sigma_r(r) = \frac{r_1^2(r^2 - r_2^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_1 + \frac{r_2^2(r_1^2 - r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_2, \quad \Sigma_\varphi(r) = \frac{r_1^2(r_2^2 + r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_1 - \frac{r_2^2(r_1^2 + r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_2,$$

$$\Sigma_z(r) = \frac{2\mu r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} P_1 - \frac{2\mu r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} P_2.$$

На рис. 2, а представлена зависимость от координаты r радиального перемещения при задании «точечных» значений p_1 и p_2 давления на границах; здесь же указаны границы интервальной величины U при задании интервальных значений давления на границах.

На рис. 2, б и 2, в показаны зависимости от r компонент E_r и E_φ тензора деформации при «точечном» задании давления на границах и диапазоны их изменения при интервальном представлении внешнего и внутреннего давления.

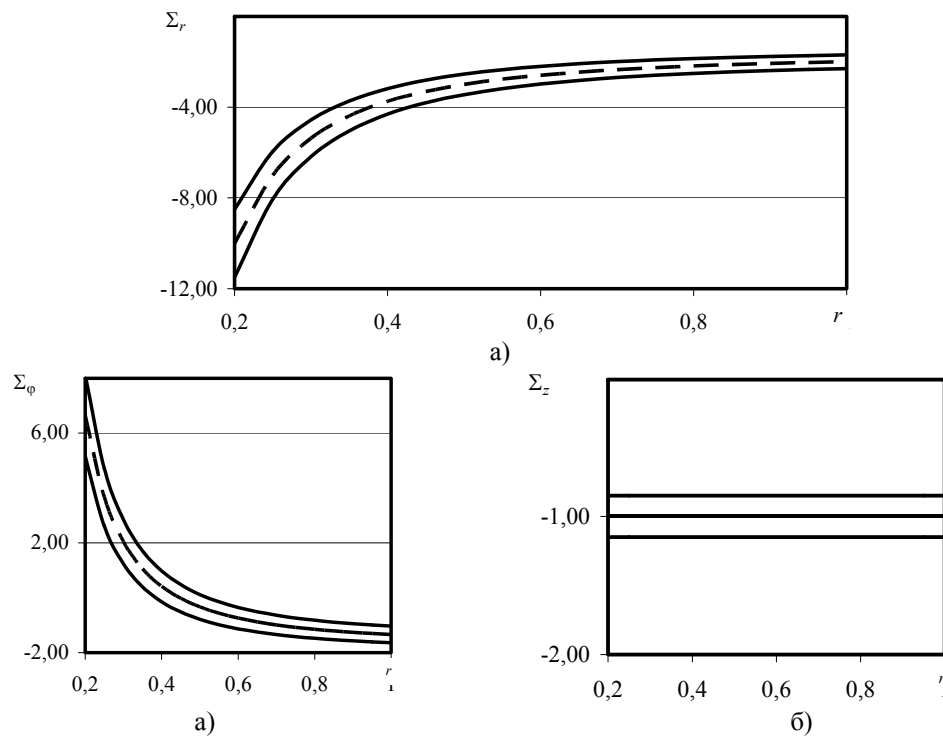


Рис. 3. Зависимости от координаты r компонент Σ_r (а, МПа), Σ_φ (б, МПа) и Σ_z (в, МПа) тензора напряжения и пределов их изменения; пунктирные линии – заданы давления p_1 и p_2 , сплошные линии – интервальные значения давления $\langle p_1, 0, 1p_1 \rangle$ и $\langle p_2, 0, 1p_2 \rangle$ на границах

На рис. 3 показаны изменения компонент Σ_r , Σ_ϕ и Σ_z тензора напряжения как функций радиальной координаты r (при задании «точечных» значений давления на границах) и диапазоны их изменения при задании «интервальных» значений давлений на границах цилиндра.

Напряженно-деформированное состояние неравномерно нагретого нагруженного цилиндра, на внутренней поверхности заданы температура t_1 и давление p_1 , на внешней поверхности – температура t_2 и давление p_2 , описывается системой уравнений (1)–(4) с граничными условиями (5) и (6). Распределения перемещения, компонент тензоров деформации и напряжения в интервальной форме имеет вид:

$$U(r) = \frac{\alpha(1+\mu)}{4(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[2r \ln \frac{r_2}{r} - 2r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} + 2r(1-\mu) \right] T_1 +$$

$$+ \frac{\alpha(1+\mu)}{4(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[2r \ln \frac{r}{r_1} + 2r_2 \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} - 2r(1-\mu) \right] T_2 +$$

$$+ \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1+\mu)}{E} r_1^2 P_1 - \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1+\mu)}{E} r_2^2 P_2,$$

$$E_r(r) = \frac{\alpha(1+\mu)}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r_2^2 - (1-2\mu)r^2}{r^2} - \ln \frac{r}{r_2} - \mu \right] T_1 +$$

$$+ \frac{\alpha(1+\mu)}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{(1-2\mu)r^2 - r_1^2}{r^2} - \ln \frac{r_1}{r} + \mu \right] T_2 +$$

$$+ \frac{(1+\mu)r_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 - r_2^2}{r^2} P_1 + \frac{(1+\mu)r_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{r_1^2 - (1-2\mu)r^2}{r^2} P_2,$$

$$E_\phi(r) = \frac{\alpha(1+\mu)}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r_2}{r} - \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r^2} + 1 - \mu \right] T_1 +$$

$$+ \frac{\alpha(1+\mu)}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r}{r_1} + \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r^2} - 1 + \mu \right] T_2 +$$

$$+ \frac{(1+\mu)r_1^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_2^2}{r^2} P_1 - \frac{(1+\mu)r_2^2}{E(r_2^2 - r_1^2)} \frac{(1-2\mu)r^2 + r_1^2}{r^2} P_2,$$

$$\Sigma_r(r) = \frac{\alpha E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r}{r_2} + \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r_2^2 - r^2}{r^2} \right] T_1 +$$

$$+ \frac{\alpha E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r_1}{r} + \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r^2 - r_1^2}{r^2} \right] T_2 +$$

$$+ \frac{r_1^2(r^2 - r_2^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_1 + \frac{r_2^2(r_1^2 - r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_2,$$

$$\Sigma_\phi(r) = \frac{\alpha E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r}{r_2} - \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r_2^2 + r^2}{r^2} + 1 \right] T_1 +$$

$$+ \frac{\alpha E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\ln \frac{r_1}{r} + \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r_1^2 + r^2}{r^2} - 1 \right] T_2 +$$

$$+ \frac{r_1^2(r_2^2 + r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_1 - \frac{r_2^2(r_1^2 + r^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} P_2,$$

$$\begin{aligned} \Sigma_z(r) = & \frac{\alpha\mu E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\frac{2}{\mu} \ln \frac{r}{r_2} - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} + 1 \right] T_1 + \\ & + \frac{\alpha\mu E}{2(1-\mu)\ln(r_2/r_1)} \left[\frac{2}{\mu} \ln \frac{r_1}{r} + \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} - 1 \right] T_2 + \\ & + \frac{2\mu r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} P_1 - \frac{2\mu r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} P_2. \end{aligned}$$

На рис. 4, а приведена зависимость радиального перемещения (при «точечном» задании давления на границах) от координаты r ; здесь же указаны границы интервальной величины U при изменении температуры и давления на границах в заданных диапазонах. На рис. 4, б и 4, в показаны зависимости от r компонент тензора E_r и E_φ тензора деформации при «точечном» задании давления на границах и диапазоны их изменения при интервальном представлении температуры и давления на внешней и внутренней границах.

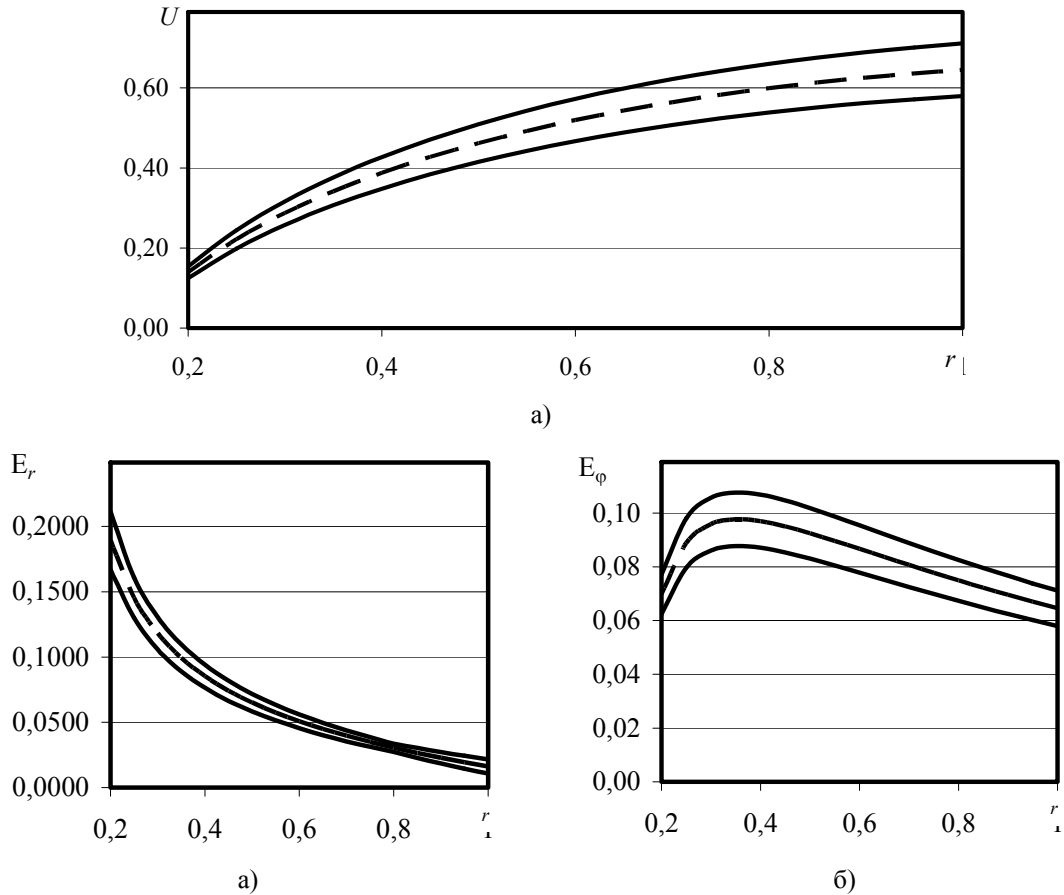


Рис. 4. Зависимости от координаты r перемещения U (а, мм) и пределов его изменения, компонент E_r (б, %) и E_φ (в, %) тензора деформации и пределов их изменения; пунктирные линии – заданы p_1, p_2 и t_1, t_2 , сплошные линии – интервальные значения давления $\langle p_1, 0,1p_1 \rangle, \langle p_2, 0,1p_2 \rangle$ и $\langle t_1, 0,1t_1 \rangle, \langle t_2, 0,1t_2 \rangle$ на границах

На рис. 5 представлены изменения компонент Σ_r, Σ_φ и Σ_z тензора напряжения как функций радиальной координаты r (при задании «точечных» граничных значений температуры и давления) и

диапазоны их изменения при задании «интервальных» значений температуры и давления на границах цилиндра.

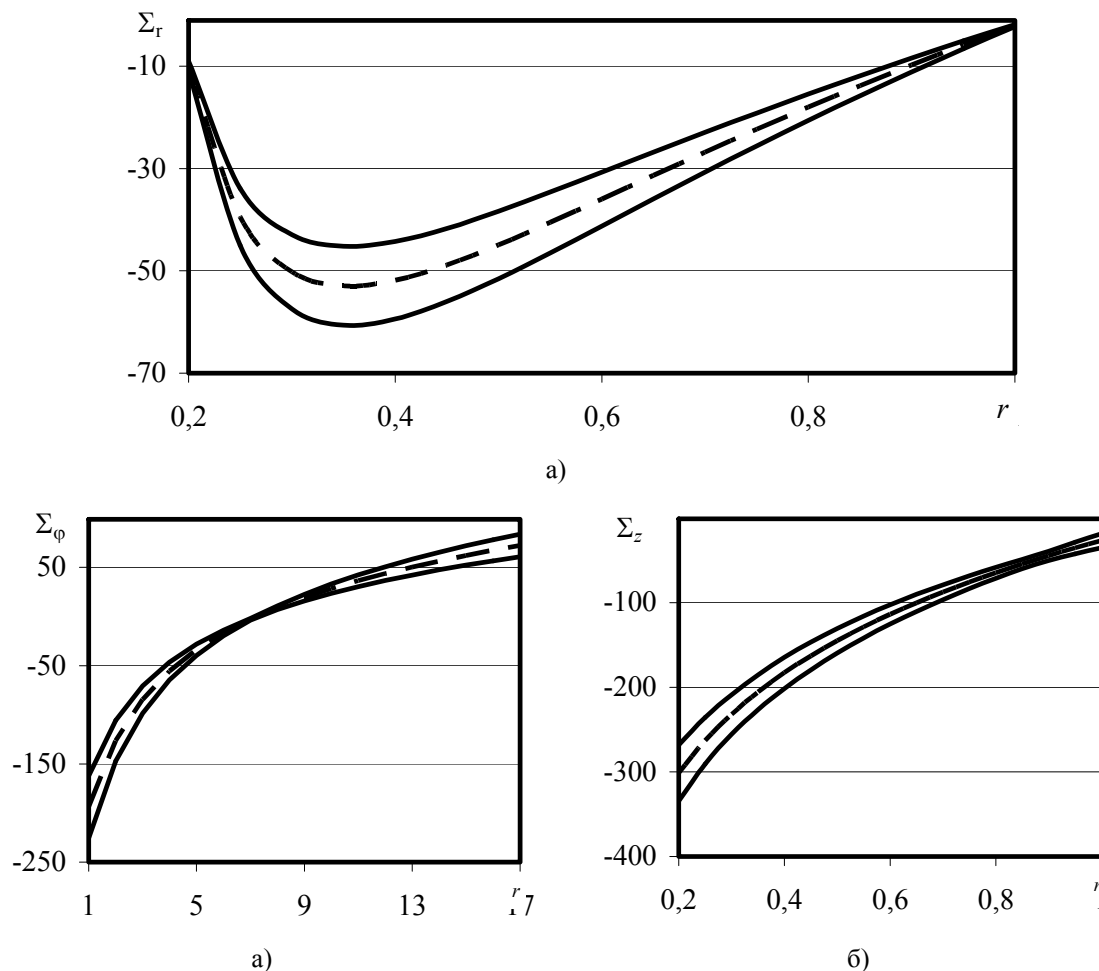


Рис. 5. Зависимости от координаты r компонент Σ_r (а, МПа), Σ_ϕ (б, МПа) и Σ_z (в, МПа) тензора напряжения и пределов их изменения; пунктирные линии – заданы p_1, p_2 и t_1, t_2 , сплошные линии – интервальные значения давления $\langle p_1, 0,1p_1 \rangle, \langle p_2, 0,1p_2 \rangle$ и $\langle t_1, 0,1t_1 \rangle, \langle t_2, 0,1t_2 \rangle$ на границах

Граничные условия (5) для температуры (рис. 1) и (6) для напряжений (рис. 3 и 5) во всех случаях выполняются корректно. При нагружении внутренней и внешней поверхностей цилиндра радиальное напряжение на границах принимает интервальные значения, соответствующие интервальным величинам внутреннего и внешнего давлений.

Из приведенных интервальных соотношений для вектора перемещения и тензоров напряжений и деформации следует, что при уменьшении их значений ширина соответствующих интервалов уменьшается. Однако, при решении первой задачи, как показывает рис. 2, ширина интервала для функции $U(r)$ практически постоянна, несмотря на то, что функция $u(r)$ принимает на рассматриваемом отрезке значение, равное нулю. Аналогичный результат отмечается для компонент E_ϕ тензора деформации и Σ_ϕ тензора напряжений (рис. 3).

Анализ напряженно-деформированного состояния элементов деталей машин и конструкций с использованием интервальных объектов оказывается более сложным, чем при применении традиционных математических методов с «точечными» исходными данными. Однако, очевидно, что рассматриваемый

аппарат интервального исчисления дает гораздо больше возможностей для учета возможных несовершенств форм и размеров реальных конструкций, недостаточности данных о физических свойствах материалов, неопределенности видов и величин температурных, силовых и прочих нагрузок.

Выводы. Интервальные векторные и тензорные объекты, инвариантные относительно преобразования систем координат, используются для решения задачи термоупругости. Результаты расчетов показывают, что возможна оценка диапазонов изменения характеристик напряженного и деформированного состояния деталей машин и механизмов при заданных диапазонах изменения входных данных. Предложенный аппарат интервальных операций над векторными и тензорными объектами может быть использован для решения прикладных инженерных задач в условиях неполноты исходной информации о свойствах материалов, параметрах изделий, размерах конструкций, начальных и граничных условиях, при использовании методов нечеткой логики, статистического моделирования и проч.

Литература.

1. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 360 с.
2. Добронев Б.С., Шайдунов В. В. Двусторонние численные методы. Новосибирск: Наука, 1990. – 208 с.
3. Калмыков С. А., Шокин Ю. И., Юлдашев З. Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986.
4. Бояршинов М.Г. Интервальные векторы и тензоры в прикладных инженерных задачах // Инж.-физ. журнал. – 2011. – Т. 84. – №. 2. – С. 418-428.
5. Теория тепломассообмена // С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под. ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высш. школа, 1979. – 495 с.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
7. Амензаде Ю.А. Теория упругости. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.

ВЛИЯНИЕ РАБОЧИХ НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ЭКСКАВАТОРОВ-МЕХЛОПАТ

*А.А. Хорешок, д.т.н., проф., И.Д. Богомолов, д.т.н., проф., П.В. Буянкин, ст. преп.,
А.В. Воробьев, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: vorob@tpi.ru*

Экскаваторы-мехлопаты на открытых горных работах являются ведущим звеном технологического процесса добычи полезного ископаемого, причем эксплуатируются в сложных условиях. Внеплановые простои экскаваторов, неизбежно возникающие в процессе эксплуатации, оказывают негативное влияние на эффективность работы всего предприятия.

Анализ внеплановых простоев парка экскаваторов-мехлопат, крупнейшей компании по добыче угля открытым способом - ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», позволил установить, что одним из наиболее часто встречающихся отказов являются поломки элементов опорно-поворотного устройства, при этом количество поломок центральной цапфы составляет до трети от всех отказов. Среднее время восстановления работоспособности оставляет до 48 часов, что связано с необходимостью наличия запасных частей, механизации ремонтных работ и пр.

Как установлено, при выполнении экспертных обследований экскаваторов с различными сроками службы, одним из распространенных дефектов центральных цапф являются трещины ее верхней части, проводящие к излому, поэтому для более полного изучения причин разрушения был проведен фрактографический анализ поверхности излома. В результате этого выявлено направление развития дефекта и предположены условия его образования, а именно воздействие при эксплуатации основных и аварийных нагрузок.

Также установлено, что наибольшему износу (раскатыванию) подвержена передняя часть верхнего рельса. Это свидетельствует о наибольших рабочих нагрузках, возникающих при эксплуатации в сложных забоях при наличии наклона экскаватора.

При анализе справочной [1] и конструкторской [2] документации установлено, что при расчете опорно-поворотных устройств карьерного экскаватора ЭКГ-10, не учитываются динамические нагрузки, возникающие от движения и степени наполнения ковша горной массой за время черпания.

Наклон экскаватора и его поворотной платформы в указанных материалах не принимался, поэтому его наличие также служит дополнительной причиной увеличения нагрузок.

С учетом вышеизложенного, для оценки влияния усилий резания и напора, наклона поворотной платформы на опорно-поворотное устройство экскаватора ЭКГ-10 выведены формулы расчета рабочих или эксплуатационных нагрузок [3]. Схема расположения элементов его механической системы приведена на рис. 1.

На рисунке 1 и последующих формулах приведены следующие обозначения: $G_{пр}$, $G_{п.пл.}$, $G_{подв}$, $G_{стр}$, $G_{лест}$, $G_{рук}$, $G_{гр}$ – массы противовеса, поворотной платформы с расположенным на ней оборудованием, подвески стрелы (канаты, подкосы и пр.), лестницы стрелы, ковша с подвеской и руко-

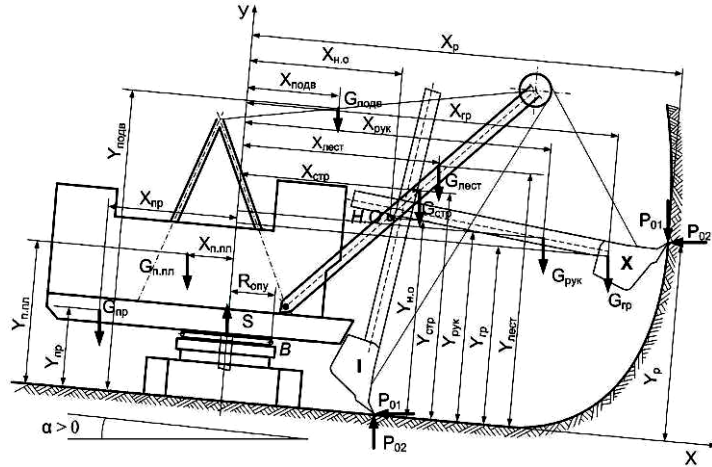


Рис. 1. Схема расположения элементов механической системы экскаватора ЭКГ-10 при определении нагрузок на его опорно-поворотное устройство

яты, вес грунта в i -том положении ковша за время черпания ($i=1...10$), G – общий вес механической системы, $X_{пр}$, $X_{п.пл.}$, $X_{подв}$, $X_{стр}$, $X_{лест}$, $X_{рук}$, $X_{гр}$, X_G , $Y_{пр}$, $Y_{п.пл.}$, $Y_{подв}$, $Y_{стр}$, $Y_{лест}$, $Y_{рук}$, $Y_{гр}$, Y_G – координаты центра масс противовеса, поворотной платформы с расположенным на ней оборудованием, подвески стрелы, лестницы стрелы, ковша с подвеской и рукояти, а также механической системы, $X_{н.о.}$ и $Y_{н.о.}$ – координаты напорной оси, X_p и Y_p – координаты точки приложения точки резания – P_{01} и усилия напора – P_{02} , S – отрывающее усилие в центральной цапфе, $R_{опу}$ – радиус роликового круга, B – место (точка) расположения переднего ролика, α – угол наклона в продольном направлении. На рисунке 1 не показаны: β – угол наклона в поперечном направлении и dK/dt – количество движения механической системы, зависящей от движения ковша и рукояти и наполнения ковша горной массой, $G_{гр}^{max}$ – максимальный вес грунта в ковше, $K_{zi} = 0,1 \dots 1$ – коэффициент заполнения ковша грунтом в его i -том положении ($i=1...10$), $l_{н.о.}^{рук}$ – расстояние от центра массы рукояти до напорной оси, V – скорость выдвигания рукояти, $l_{н.о.}^{гр}$ – расстояние от центра массы грунта в ковше до напорной оси, ω – угловая скорость поворота ковша и рукояти относительно напорной оси, a – расстояние от зуба до центра массы ковша, t – время черпания.

Координаты центра масс механической системы вращающейся части экскаватора, определены в зависимости от движения и степени наполнения ковша горной массой при черпании:

$$X_{C_i} = \frac{(X_{пр} \cdot G_{пр} + X_{п.пл.} \cdot G_{п.пл.} + X_{подв} \cdot G_{подв} + X_{стр} \cdot G_{стр} + X_{лест} \cdot G_{лест} + X_{рук_i} \cdot G_{рук} + X_{гр_i} \cdot G_{гр_i})}{G}, \quad (1)$$

$$Y_{C_i} = \frac{(Y_{пр} \cdot G_{пр} + Y_{п.пл.} \cdot G_{п.пл.} + Y_{подв} \cdot G_{подв} + Y_{стр} \cdot G_{стр} + Y_{лест} \cdot G_{лест} + Y_{рук_i} \cdot G_{рук} + Y_{гр_i} \cdot G_{гр_i})}{G}, \quad (2)$$

Вес грунта в ковше определяется формулой:

$$G_{гр_i} = G_{гр}^{max} \cdot K_{zi}, \quad (3)$$

Координаты центра тяжести грунта в ковше в i -том положении за время черпания:

$$X_{гр_i} = X_{н.о.} + (V \cdot t_i + l_{н.о.}^{гр}) \sin \omega t_i, \quad (4)$$

$$Y_{гр_i} = Y_{н.о.} - (V \cdot t_i + l_{н.о.}^{гр}) \cos \omega t_i, \quad (5)$$

Координаты центра тяжести рукояти и ковша в i -том положении за время черпания:

$$X_{рук_i} = X_{н.о.} + (V \cdot t_i + l_{н.о.}^{рук}) \sin \omega t_i, \quad (6)$$

$$Y_{рук_i} = Y_{н.о.} - (V \cdot t_i + l_{н.о.}^{рук}) \cos \omega t_i, \quad (7)$$

Координата X_{G_i} точки пересечения линии действия равнодействующей всех сил тяжести поворотной платформы или веса G с ее опорной поверхностью, имеется при наличии наклона, при этом передний ролик (т.В) является ребром опрокидывания, проявляющимся при потере устойчивости:

$$X_{G_i} = X_{G_i} + Y_{G_i} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (8)$$

Потеря устойчивости поворотной платформы приводит к увеличению отрывающего усилия S в центральной цапфе, зависящего от времени черпания, усилий резания и напора:

$$S_i = -\frac{1}{1,9} [G \cdot [(1,9 - X_{C_i}) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - Y_{C_i} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta] + (X_p - 1,9)((-P_{01} \cdot \sin(\omega t_i) + P_{02} \cdot \cos(\omega t_i)) + Y_p(P_{01} \cdot \cos(\omega t_i) + P_{02} \cdot \sin(\omega t_i))], \quad (9)$$

В результате изучения построенной в программе Mathcad траектории центра масс поворотной платформы установлено, что при наклоне платформы на 12 градусов координаты точки пересечения линии действия веса G с опорной поверхностью радиусом $R_{опу}=1900$ мм изменяются от 0,27 до 2,41 м, что приводит к потере устойчивости платформы. При этом нахождение этой координаты над передним роликом будет при наклоне экскаватора в продольном направлении в 4 градуса при завершении черпания (рис.2).

С использованием теоремы об изменении главного вектора количества движения механической системы определены основные реакции связей в опорно-поворотном устройстве (см. рис. 1 и 3), которые даны в формулах 10-12.

Основные нагрузки, выраженные через реакции связей, воздействующие на опорно-поворотное устройство:

$$N_x = \sum N_x^{ст} + \sum N_x^{дин} = (-\sum G_{ix}) - (P_{01x} + P_{02x} - \frac{dK_x}{dt}) = -\sum G_{ix} - P_{01x} - P_{02x} + \frac{dK_x}{dt} =$$

$$= -[G_{пр} + G_{п.пл.} + G_{подв} + G_{стр} + G_{лест} + G_{рук} + K_3 \cdot t] \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta -$$

$$- P_{01} \cdot \cos(\omega t_i) - P_{02} \cdot \sin(\omega t_i) + K_3 [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.} + a) \omega \cdot \cos(\omega t_i) + V \cdot \sin(\omega t_i)] +$$

$$+ K_3 \cdot t [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.} + a) (-\omega^2 \cdot \sin(\omega t_i) + 2V\omega \cdot \cos(\omega t_i))$$

$$+ G_{рук} [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.}) (-\omega^2 \sin(\omega t_i)) + 2V\omega \cdot \cos(\omega t_i)] \quad (10)$$

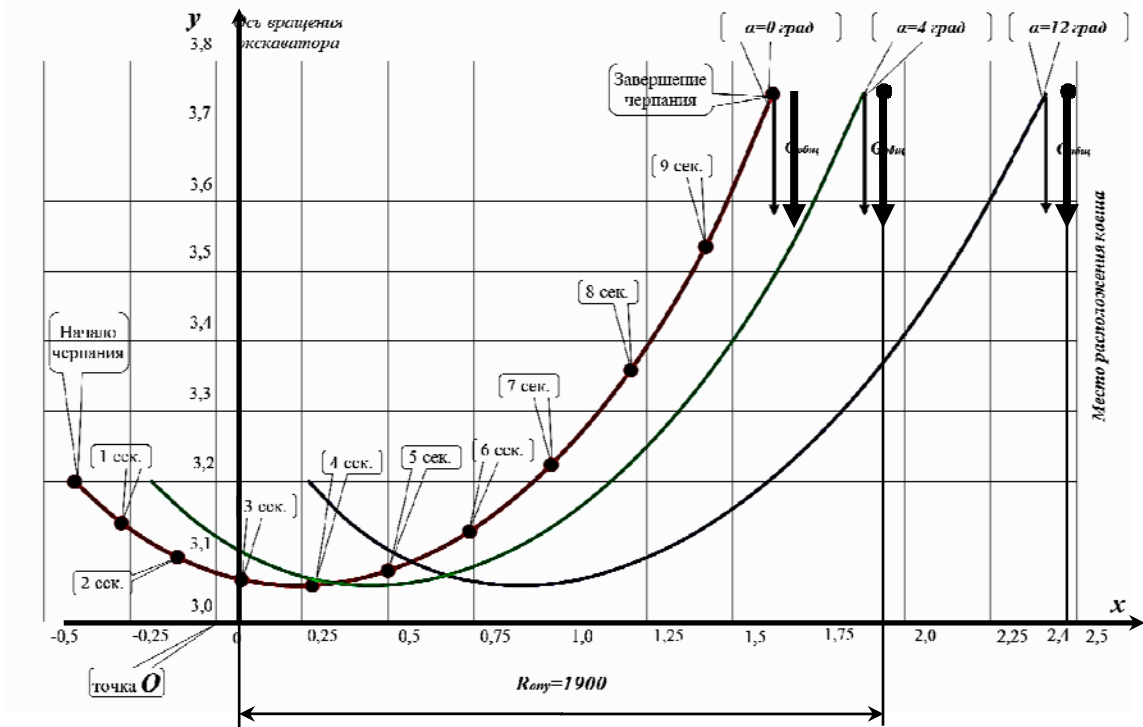


Рис. 2. Траектория центра масс механической системы поворотной платформы экскаватора ЭКГ-10 и узлов, расположенных на ней, при различных углах наклона поворотной платформы

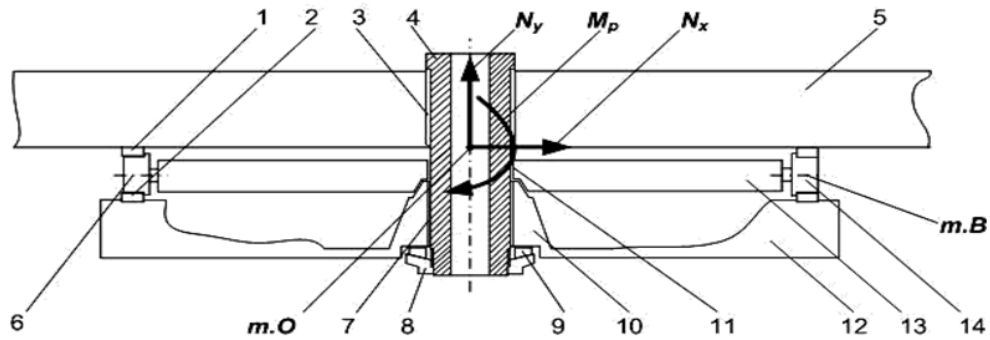


Рис. 3. Схема общей конструкции опорно-поворотного устройства и расположения реакций связей: 1 – верхний рельс, 2 – нижний рельс, 3 – втулка (верхний и нижний пояса) поворотной платформы, 4 – центральная цапфа, 5 – поворотная платформа, 6 – роликовый круг, 7 – втулка нижней рамы, 8 – гайка центральной цапфы, 9 – сферическая шайба, 10 – отливка нижней рамы, 11 – втулка сепаратора роликового круга, 12 – нижняя рама, 13 – сепаратор роликового круга, 14 – передний ролик (точка В), N_x - горизонтальная составляющая нагрузок, N_y – вертикальная составляющая нагрузок, M_p – реактивный (изгибающий) момент.

$$N_y = \sum N_y^{ст} + \sum N_y^{дин} = (-\sum G_{iy}) - (P_{01y} + P_{02y} - \frac{dK_y}{dt}) = -\sum G_{iy} - P_{01y} - P_{02y} + \frac{dK_y}{dt} =$$

$$= [G_{пр} + G_{п.пл} + G_{подв} + G_{стр} + G_{лест} + G_{рук} + K_3 \cdot t] \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta +$$

$$- P_{01} \sin(\omega t_i) - P_{02} \cos(\omega t_i) + K_3 [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.} + a) \omega \cdot \sin(\omega t_i) - V \cos(\omega t_i)] +$$

$$+ K_3 \cdot t [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.} + a) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)] +$$

$$+ G_{рук} [(V \cdot t + l^{рук}_{н.о.}) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)]$$

$$M_p = (Y_{пр} \cdot G_{пр} + Y_{п.пл} \cdot G_{п.пл} + Y_{подв} \cdot G_{подв} + Y_{стр} \cdot G_{стр} + Y_{лест} \cdot G_{лест} + Y_{рук} \cdot G_{рук} + Y_{гр} \cdot K_3 \cdot t) g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta +$$

$$+ (X_{пр} \cdot G_{пр} + X_{п.пл} \cdot G_{п.пл} + X_{подв} \cdot G_{подв} + X_{стр} \cdot G_{стр} + X_{лест} \cdot G_{лест} + X_{рук} \cdot G_{рук} + X_{гр} \cdot K_3 \cdot t) g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta -$$

$$- Y_p (P_{01} \cdot \cos(\omega t_i) + P_{02} \cdot \sin(\omega t_i)) - X_p (-P_{01} \cdot \sin(\omega t_i) + P_{02} \cdot \cos(\omega t_i)) +$$

$$+ Y_{рук} \cdot G_{рук} \cdot \ddot{X}_{рук} + Y_{гр} \cdot G_{гр} \cdot \ddot{X}_{гр} - X_{рук} \cdot G_{рук} \cdot \ddot{Y}_{рук} - X_{гр} \cdot G_{гр} \cdot \ddot{Y}_{гр}$$

В результате аналитических расчетов в программе Mathcad получены значения максимальных нагрузок, которые приведены в табл.1.

Таблица 1

Значения максимальных расчетных нагрузок в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10

№ п/п	Параметр	Без наклона		При наличии наклона в 12 градусов	
		начало черпания	завершение черпания	начало черпания	завершение черпания
1.	Отрывающая нагрузка, кН	-624	2376	-542	2494
2.	Горизонтальная нагрузка, кН	334,9	90,9	867,4	674,2
3.	Момент реактивный, кН*м	-1758,8	9050	-28,1	11122
4.	Вертикальная нагрузка, кН	2472	3154	2406	3082

Анализ полученных результатов показывает, что воздействие внешних сил (рабочих или эксплуатационных нагрузок) приводит к знакопеременным значениям нагрузок в опорно-поворотном устройстве, которые негативно влияют на его элементы и приводят к изменению напряжений, следовательно к износу элементов и поломкам оборудования.

Для комплексной оценки воздействия рабочих нагрузок на опорно-поворотное устройство выполнен расчет напряженно-деформированного состояния, с использованием системы SolidWorks Simulation. Геометрическая модель опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 (в разрезе) выполненная с приложением максимальных расчетных нагрузок приведена на рис.4.

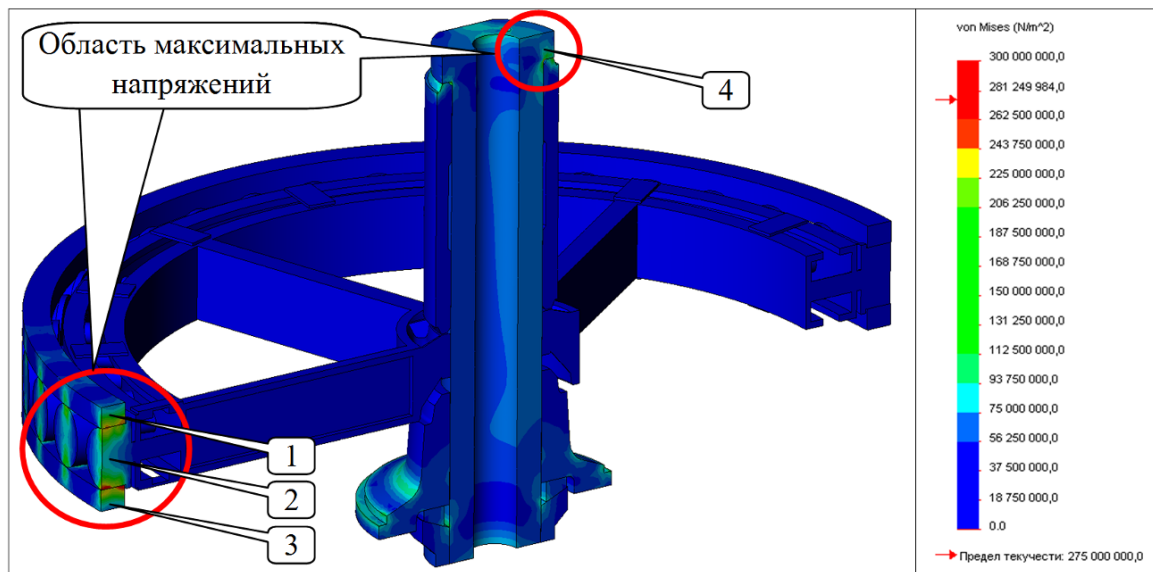


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в опорно-поворотном устройстве: 1 – верхний рельс, 2 – передний ролик, 3 – нижний рельс, 4 – центральная цапфа

Установлено, что наиболее нагруженным элементом опорно-поворотного устройства является центральная цапфа. Максимум напряжений на цапфе расположен в области галтели, дополнительным концентратором напряжений является отверстие под рымболт, выходящее на вертикальную стенку цапфы. На рис. 5 изображена центральная цапфа и показана ее область, в которой полученные напряжения превышают предел текучести материала (275 МПа для стали 40).

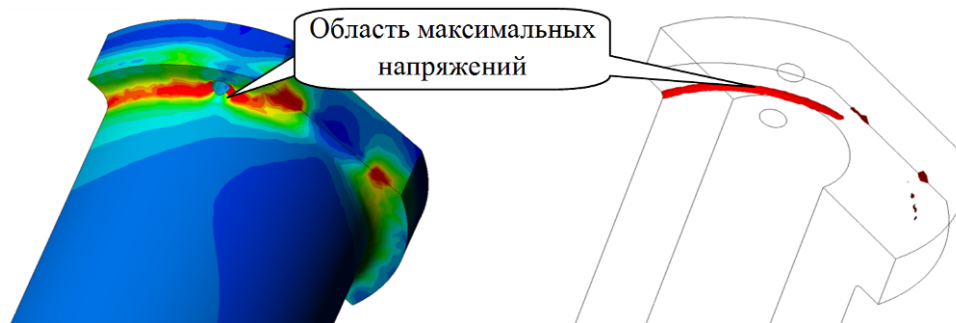


Рис. 5. Область центральной цапфы с напряжениями, превышающими предел текучести материала (0,4% от объема рассчитываемой конструкции)

Рассматривая, полученные методом конечных элементов, результаты, получено подтверждение причин поломок центральной цапфы и износа верхнего рельса опорно-поворотного устройства.

Имеющиеся максимальные напряжения на центральной цапфе превышают предел текучести материала, следовательно, являются причиной разрушения. Также подтверждено, что отверстие под рымболт является дополнительным концентратором.

Изучение характера нагружения мест контакта верхнего рельса и роликов роликового круга также подтверждает, что наиболее нагружены семь передних роликов, при этом передний подвержен максимальным напряжениям.

Для снижения влияния рабочих нагрузок на конструкцию центральной цапфы предложен перенос отверстий под рымболты ближе к оси (было 230 мм, предложено 165 мм) и увеличение радиуса галтели с 10 до 25 мм, что не повлечет значительного изменения конструкции остальных (сопряженных) элементов опорно-поворотного устройства.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства с центральной цапфой, имеющей усовершенствованную конструкцию, приведены на рис.6.

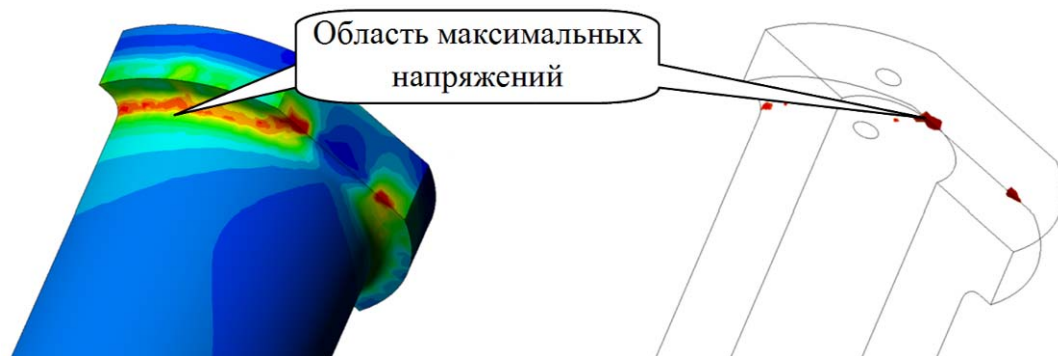


Рис. 6. Область центральной цапфы усовершенствованной конструкции, в которой напряжения превышают предел текучести материала (0,04% от объема рассчитываемой конструкции)

Данная картина свидетельствует о снижении рабочих нагрузок на элементы опорно-поворотного устройства в 10 раз, соответственно будут снижены внеплановые отказы по причине разрушения конструкции, следовательно возрастет коэффициент технической готовности экскаватора в целом.

Литература.

1. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: учеб. для вузов. – 6-е изд. – М.: МГГУ, 2007. – 680 с.
2. ПО «Ижорский завод им. Жданова» «Расчет моментов инерции экскаватора ЭКГ-10. 3532.00.00.000 РР1» (1983 г.)
3. Хорешок, А.А. Исследование причин наклона поворотной платформы экскаватора-мехлопаты и оценка их воздействия на нагрузки опорно-поворотного устройства. / А.А. Хорешок, Е.К. Соколова, П.В. Буянкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – №3. – С. 11–14.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕОХОДА

*М.Ю. Блащук, к.т.н., доц., А.А. Дронов, асп., Д.А. Михеев, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская область, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)-6-05-37
E-mail: mby.tpu@gmail.com*

Введение

Геоход – новый класс горной техники в основу конструктивных решений которого положена общая концептуальная модель, разработанная авторами [1]. В основе работы модели лежит принцип ввинчивания ограждающей оболочки в массив, т.е. окружающий массив выполняет функцию гайки, а оболочка – винта, что является принципиальной отличительной особенностью геоходов. При таком перемещении геоход, в отличие от проходческих щитов не отталкивается от торцевой поверхности монолитной или другой крепи, а использует для перемещения предварительно сформированную систему винтовых законтурных каналов.

Основные отличия геоходов от традиционного проходческого оборудования [2,3]:

- принцип работы;
- наличие новых функционально-конструктивных элементов;
- общая функционально-компоновочная схема;
- конструктивные особенности геоходов позволяют реализовать постоянное по величине и непрерывное во времени напорное усилие на исполнительном органе, при этом разрушение массива горных пород будет происходить с постоянным контактом исполнительного органа с поверхностью забоя, что обеспечит устойчивость, как самого забоя, так и призабойной зоны;
- возможность реализации на исполнительном органе любых напорных усилий (возможность создания исполнительных органов (ИО) для разрушения крепких пород);
- качественно новые функциональные возможности, т.е. геоход может выполнять свои функции при любом пространственном положении.

Требования к трансмиссии геохода.

Одной из основных систем геохода, создающих тяговое усилие на внешнем движителе и напорное усилие на исполнительном органе является трансмиссия [4]. Именно трансмиссией определяются силовые параметры геохода и скорость его продвижения в геосреде, поэтому особое значение приобретают вопросы, связанные с разработкой конструкции трансмиссии геохода и определением её технико-эксплуатационных показателей.

На основании отличительных особенностей геохода были сформированы требования к трансмиссиям геохода нового поколения [5]:

- трансмиссия должна обеспечивать непрерывную подачу геохода на забой;
- трансмиссия должна обеспечивать вращающий момент на головной секции, достаточный для формирования на внешнем движителе усилий для перемещения всего геохода, а также, достаточный для отделения горной породы от массива исполнительными органами;
- размеры и расположение трансмиссии и привода должны оставлять достаточно свободного пространства внутри агрегата для удаления отделенной горной массы, прохода людей для обслуживания узлов, а также размещения других элементов и систем;
- трансмиссия должна обеспечивать возможность реверсирования движения геохода;
- трансмиссия должна обеспечивать работу геохода при любом его пространственном положении;
- трансмиссия и привод должны быть смонтированы на единой конструктивной базе геохода.

При рассмотрении возможных вариантов компоновочно-конструктивных решений трансмиссий геохода необходимо определить граничные условия применения того или иного вида трансмиссии на основе анализа соответствия сформированным требованиям.

Также требования к развиваемым силовым и кинематическим характеристикам трансмиссии требуют уточнения в зависимости от ожидаемых усилий взаимодействия геохода с геосредой, а также на основании особенностей геосреды и технологии проведения выработки.

Формирование условий для разработки математической модели.

При движении геохода в геосреде на величину развиваемого вращающего момента трансмиссии геохода существенное влияние оказывают проявления различного рода сил, возникающих из-за взаимодействия элементов геохода с окружающей геосредой. Возникающие силы оказывают сопротивление передвижению секций [6]. Характер взаимодействия геохода с окружающей породой неоднозначен и зависит от большого числа факторов: геометрических (конструктивных) параметров геохода, физико-механических характеристик и строения массива, начального поля напряжений и др. Методы определения нагрузок от этих сил на геоход, работающий в жесткопластической среде, основываются на расчетных схемах, предусматривающих режим заданной нагрузки. Математическая модель для определения усилий, необходимых для перемещения геохода, предложенная в работе [1] разработана с учетом существующей трансмиссии с гидроцилиндрами. В данной математической модели определяются P_d – усилие, развиваемое всеми гидроцилиндрами вращения геохода и тяговое усилие при совмещенном режиме перемещения P_T . Данная математическая модель не учитывала сформированные требования к трансмиссии геохода нового технического уровня [5], в части обеспечения непрерывности вращения и совмещенного режима перемещения секций.

В модели приняты следующие допущения:

- цилиндрические секции геохода обладают достаточной жесткостью при действии внешних нагрузок, т.е. не допускаются значительные деформации оболочек секций, которые могут привести к их самозаклиниванию при перемещении;
- вертикальная и горизонтальная составляющие горного давления равномерно распределены соответственно по горизонтальной и вертикальной проекциям геохода;
- режим перемещения – совмещенный, т.е. одновременно передвигаются обе секции геохода;
- первоначально геометрические параметры геохода принимаются аналогично параметрам геохода ЭЛАНГ-4;

Для определения усилия $P_{сш}$ необходимо рассмотреть схему сил, действующих на секции геохода при рабочем ходе в выработке с углом подъёма α (рисунок 1). Обозначения, использованные на схеме и в последующих выражениях, приведены в таблице 1.

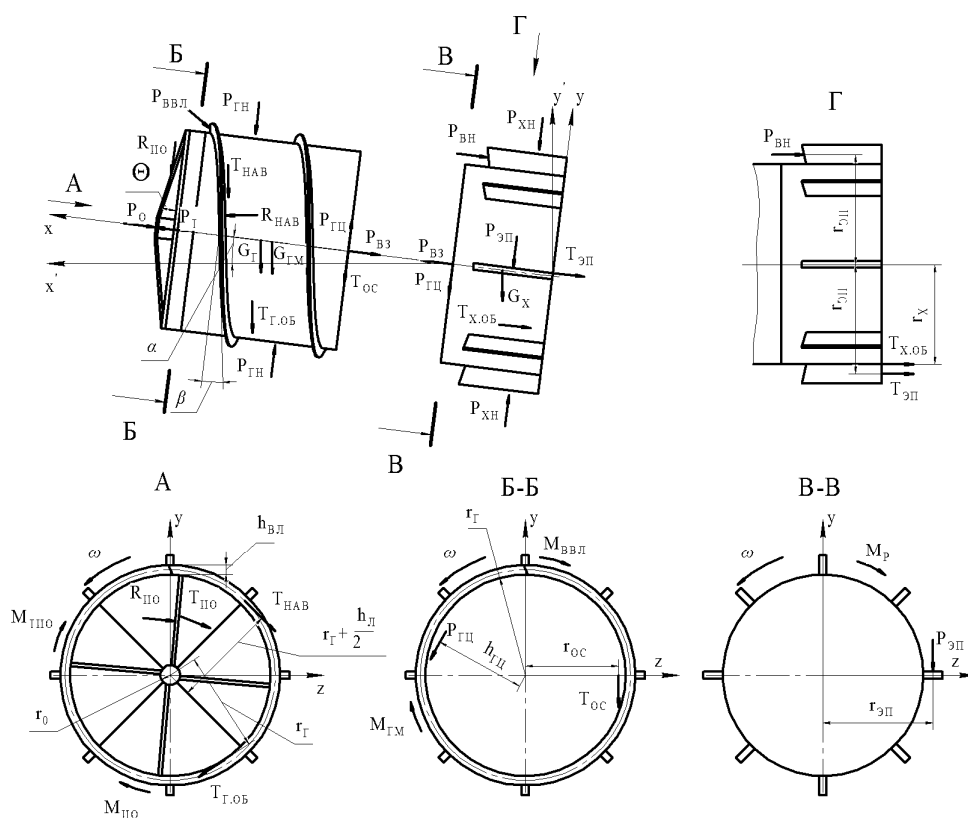


Рис. 1. Расчетная схема к определению необходимых усилий перемещения двухсекционного геохода

Таблица 1

Обозначение величины	Наименование, единицы измерения
f_{TP}	Коэффициент трения стали о вмещающую породу.
$f_{TP.K}$	Коэффициент трения качения в узле сопряжения.
G_G	Вес головной секции, с учетом смонтированных на ней исполнительных органов, погрузочного устройства и другого оборудования, Н
G_{GM}	Вес отбитой горной массы, находящейся внутри агрегата, Н
G_X	Суммарный вес хвостовой секции с оборудованием, Н
$h_{ВЛ}$	Высота винтовой лопасти, м
$h_{ГЦ}$	Плечо приложения силы от гидроцилиндров вращения, м
$M_{ВВЛ}$	Момент сопротивления, создаваемый винторезом винтовой лопасти при внедрении в приконтурный массив, Н·м
M_{GM}	Момент, необходимый для перемещения разрушенной породы из нижней части геохода вверх, Н·м
$M_{ИО}$	Момент сопротивления резанию на исполнительном органе, Н·м
M_P	Реактивный вращающий момент на хвостовой секции, Н·м
$M_{ТНО}$	Момент сопротивления, создаваемый трением исполнительного органа по породе, Н·м
$P_{ВВЛ}$	Усилие внедрения винтовой лопасти в приконтурный массив при движении агрегата, Н
$P_{ВЗ}$	Усилие взаимодействия головной и хвостовой секций при движении агрегата, Н

Обозначение величины	Наименование, единицы измерения
P_{BH}	Суммарное усилие внедрения элементов противовращения в приконтурный массив, Н
$P_{ГН}$	Нормальная составляющая нагрузок от горного давления на головную секцию, Н
$P_{ГЦ}$	Суммарное усилие развиваемое гидроцилиндрами вращения для перемещения секций, Н
P_O	Проекция полной силы сопротивления резанию на ось вращения секций, Н
P_T	Сила тяги винтового движителя, Н
$P_{ХН}$	Нормальная составляющая нагрузок от горного давления на головную секцию, Н
$P_{ЭП}$	Нормальная составляющая реактивной силы на элементах противовращения от реактивного крутящего момента, Н
$R_{ИО}$	Проекция полной силы сопротивления пород резанию на плоскость, перпендикулярную оси вращения, Н
$R_{НАВ}$	Реакция пород контура выработки на винтовую лопасть, Н
r_G	Радиус головной секции, м
r_O	Радиус стакана центральной опоры в передней части геохода, м
r_{OC}	Радиус окружности центров тел качения подшипникового узла, м
r_X	Радиус хвостовой секции, м
$r_{ЭП}$	Расстояние от оси вращения до середины элементов противовращения, м
$T_{Г.ОБ}$	Суммарная сила трения оболочки головной секции о породу, Н
$T_{ИО}$	Сила трения исполнительного органа об разрушаемую породу, Н
$T_{НАВ}$	Сила трения винтовой лопасти об вмещающую породу, Н
T_{OC}	Суммарные силы трения качения останова в подшипниковом узле секций, Н
$T_{X.ОБ}$	Суммарная сила трения хвостовой секции о породу, Н
$T_{ЭП}$	Суммарная сила трения элементов противовращения хвостовой секции о породу, Н
α	Угол подъёма выработки, град
β	Угол подъёма винтовой лопасти, град
$\varphi_{ТР}$	Угол трения между породой и сталью, град
Θ	Средний угол между плоскостью перекрытия исполнительного органа и плоскостью, перпендикулярной оси вращения, град
ω	Угловая скорость вращения головной секции геохода, с ⁻¹ .

Разработка математической модели.

Составим систему, состоящую из трех уравнений равновесия для обеих секций:

$$\begin{cases} P_T - P_O - (G_G + G_{ГМ}) \cdot \sin \alpha - T_{НАВ} \cdot \sin \beta - T_{Г.ОБ} \cdot \sin \beta - P_{ВЗ} - P_{ВЛ} = 0 \\ P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ} - M_{ИО} - M_{ПНО} - M_{ГМ} - M_{ВЛ} - T_{НАВ} \cdot \left(r_G + \frac{h_{ВЛ}}{2} \right) \cdot \cos \beta - \\ - R_{НАВ} \cdot \left(r_G + \frac{h_{ВЛ}}{2} \right) \cdot \sin \beta - T_{Г.ОБ} \cdot r_G \cdot \cos \beta - T_{OC} \cdot r_{OC} = 0 \\ P_{ВЗ} - P_{BH} - T_{X.ОБ} - T_{ЭП} - G_X \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (1)$$

В данных уравнениях неизвестными являются:

$$P_{ГЦ}, R_{НАВ}, P_{ВЗ}.$$

В этих уравнениях силы P_T , $T_{НАВ}$, $T_{ЭП}$, $T_{ОС}$ выражены через другие составляющие этих же уравнений. Сила тяги P_T представляет собой произведение:

$$P_T = R_{НАВ} \cdot \cos \beta. \quad (2)$$

Сила трения винтовой лопасти $T_{НАВ}$ представляет собой выражение [1]:

$$T_{НАВ} = |R_{НАВ}| \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ТР}, \quad (3)$$

$$\text{где } \varphi_{ТР} = \operatorname{arctg} f_{ТР}. \quad (4)$$

С учетом выражения $\operatorname{tg}(\operatorname{arctg}(a)) = a$ формулу (3) можно записать в виде:

$$T_{НАВ} = |R_{НАВ}| \cdot f_{ТР}. \quad (5)$$

Суммарные силы трения элементов противовращения хвостовой секции о породу [1]:

$$T_{ЭП} = \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР}. \quad (6)$$

Суммарные силы трения качения останова в подшипниковом узле можно определить как [1]:

$$T_{ОС} = (P_{ВН} + T_{Х.ОБ} + G_X \cdot \sin \alpha) \cdot f_{ТР.К}. \quad (7)$$

Подставим в уравнения системы (1) выражения (2) – (6) и приведем подобные:

$$\begin{cases} R_{НАВ} \cdot (\cos \beta - f_{ТР} \cdot \sin \beta) - P_O - (G_\Gamma + G_{ГМ}) \cdot \sin \alpha - T_{Г.ОБ} \cdot \sin \beta - P_{ВЗ} - P_{ВВЛ} = 0 \\ P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ} - M_{НО} - M_{ТНО} - M_{ГМ} - M_{ВВЛ} - R_{НАВ} \cdot \left(r_\Gamma + \frac{h_{ВЛ}}{2} \right) \cdot (\sin \beta - f_{ТР} \cdot \cos \beta) - \\ - T_{Г.ОБ} \cdot r_\Gamma \cdot \cos \beta - T_{ОС} \cdot r_{ОС} = 0 \\ P_{ВЗ} - P_{ВН} - T_{Х.ОБ} - \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР} - G_X \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Для решения системы (8) из последнего уравнения выразим составляющую $P_{ВЗ}$:

$$P_{ВЗ} = P_{ВН} + T_{Х.ОБ} + \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР} + G_X \cdot \sin \alpha. \quad (9)$$

Из первого уравнения системы (8) выразим составляющую $R_{НАВ}$:

$$R_{НАВ} = \frac{P_O + (G_\Gamma + G_{ГМ}) \cdot \sin \alpha + T_{Г.ОБ} \cdot \sin \beta + P_{ВЗ} + P_{ВВЛ}}{\cos \beta - f_{ТР} \cdot \sin \beta}. \quad (10)$$

Подставим в (10) вместо $P_{ВЗ}$ выражение (9), одновременно перегруппировав члены получим:

$$R_{НАВ} = \frac{P_O + (G_\Gamma + G_{ГМ} + G_X) \cdot \sin \alpha + T_{Г.ОБ} \cdot \sin \beta + P_{ВВЛ} + P_{ВН} + T_{Х.ОБ} + \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР}}{\cos \beta - f_{ТР} \cdot \sin \beta}. \quad (11)$$

Поскольку выражение (11) достаточно большое и включает неизвестное $P_{ГЦ}$, которое придется выразить из второго уравнения системы (8), перепишем выражение (11) в более удобном виде:

$$R_{НАВ} = \frac{\Sigma P + \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР}}{\cos \beta - f_{ТР} \cdot \sin \beta}, \quad (12)$$

$$\text{где } - \Sigma P = P_O + (G_\Gamma + G_{ГМ} + G_X) \cdot \sin \alpha + T_{Г.ОБ} \cdot \sin \beta + P_{ВВЛ} + P_{ВН} + T_{Х.ОБ}. \quad (13)$$

Теперь, во второе уравнение системы (8), подставим вместо $R_{НАВ}$ выражение: (12)

$$P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ} - \Sigma M - \left(\Sigma P + \frac{P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ}}{r_{ЭП}} \cdot f_{ТР} \right) \cdot k - T_{Г.ОБ} \cdot r_\Gamma \cdot \cos \beta - T_{ОС} \cdot r_{ОС} = 0, \quad (14)$$

$$\text{где } \Sigma M = M_{HO} + M_{THO} + M_{GM} + M_{BBL}, \quad (15)$$

$$k_1 = \frac{(\sin \beta - f_{TP} \cdot \cos \beta)}{\cos \beta - f_{TP} \cdot \sin \beta} \cdot \left(r_G + \frac{h_{BL}}{2} \right). \quad (16)$$

Раскрыв скобки в выражении (14) найдем $P_{ГЦ}$

$$P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ} \left(1 - \frac{k_1 \cdot f_{TP}}{r_{ЭП}} \right) = \Sigma M + \Sigma P \cdot k_1 + T_{Г.ОБ} \cdot r_G \cdot \cos \beta + T_{OC} \cdot r_{OC}$$

$$P_{ГЦ} = \frac{\Sigma M + \Sigma P \cdot k_1 + T_{Г.ОБ} \cdot r_G \cdot \cos \beta + T_{OC} \cdot r_{OC}}{h_{ГЦ} \left(1 - \frac{k_1 \cdot f_{TP}}{r_{ЭП}} \right)} \quad (17)$$

Вынося из знаменателя правой части выражения (17) плечо $h_{ГЦ}$ в левую часть найдем требуемый вращающий момент $M_{ВР.ТР}$, развиваемый гидроцилиндрами:

$$M_{ВР.ТР} = P_{ГЦ} \cdot h_{ГЦ} = \frac{\Sigma M + \Sigma P \cdot k_1 + T_{Г.ОБ} \cdot r_G \cdot \cos \beta + T_{OC} \cdot r_{OC}}{1 - \frac{k_1 \cdot f_{TP}}{r_{ЭП}}} \quad (18)$$

Вывод.

Полученные аналитические выражения (1) – (18), являются математической моделью взаимодействия корпуса двухсекционного геолода с окружающими породами в условиях сухого трения. Разработанная математическая модель учитывает непрерывный поступательно-винтовой характер перемещения секций, особенности исполнительного органа, наличие винтовой лопасти на внешней поверхности оболочки секций, а также влияние забоя на величину сил горного давления. Данная модель верна для двухсекционной схемы геолода, с любым исполнительным органом и любого типа трансмиссии.

Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор №02.G25.31.0076.

Литература.

1. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. док. техн. наук. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. - 307 с.
2. Аксенов В.В., Ефременков А.Б. Геовинчестерная технология и геолоды - наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства // Уголь/ Москва, 2009– №2. С.26-29.
3. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю., Бегляков В.Ю. Формирование требований к основным системам геолода // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal). Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования / М.: издательство «Горная книга» – 2009. – ОВ №10. С. 107-118.
4. Ефременков А.Б., Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к трансмиссии геолодов // Известия вузов. Горный журнал / Екатеринбург, 2009–№ 8. С. 101-103.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Сапожкова А.В. Разработка требований к основным системам геолода // Горное оборудование и электромеханика/ Москва, 2009– №5. С.3-7.
6. V.V. Aksenov, A.B. Efremenkov, V.Yu. Beglykov. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face // Applied Mechanics and Materials Vol. 379 (2013) pp 16-19 © (2013) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/ www.scientific.net/ AMM.379.16.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНСМИССИЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ГИДРОЦИЛИНДРАМИ

М.Ю. Блацук, к.т.н., Т.С. Куст, к.филол.н.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: mby.tpu@gmail.com

Создание приводов, обеспечивающих вращение крупных технических объектов с малой частотой (менее 1 об/мин) и большими моментами (свыше 1 МН·м) применяющихся в условиях ограниченного пространства, представляет сложную и противоречивую задачу. Примерами таких устройств могут являться приводы движителя геолода [1,2], приводы роторных исполнительных органов проходческих щитов [3], а также других машин с указанными выше требованиями. Применение традиционных приводов с механическими передачами и электро- или гидромоторами, как правило, затруднительно, ввиду значительного ухудшения массогабаритных характеристик [4]. Также ввиду значительной технической сложности и технологической несовершенности затруднительно применение весьма перспективных волновых передач с промежуточными телами качения [5]. Альтернативными приводами являются механизмы вращения с гидроцилиндрами, расположенными по хордам окружности, с преобразователями поступательного движения во вращательное в виде механизмов свободного хода [6]. Так как гидроцилиндры являются гидродвигателями возвратно-поступательного циклического действия, для обеспечения непрерывности вращения выходного звена в большинстве механизмов гидроцилиндры работают в противофазе, т.е. половина гидроцилиндров совершает рабочий ход, а вторая половина – холостой. Более энергоэффективными являются механизмы, где большее количество гидроцилиндров совершает рабочий ход, а меньшее – обратный (холостой). Для этого гидроцилиндры должны находиться в разных фазах выдвигания (рис. 1, 2) [6].

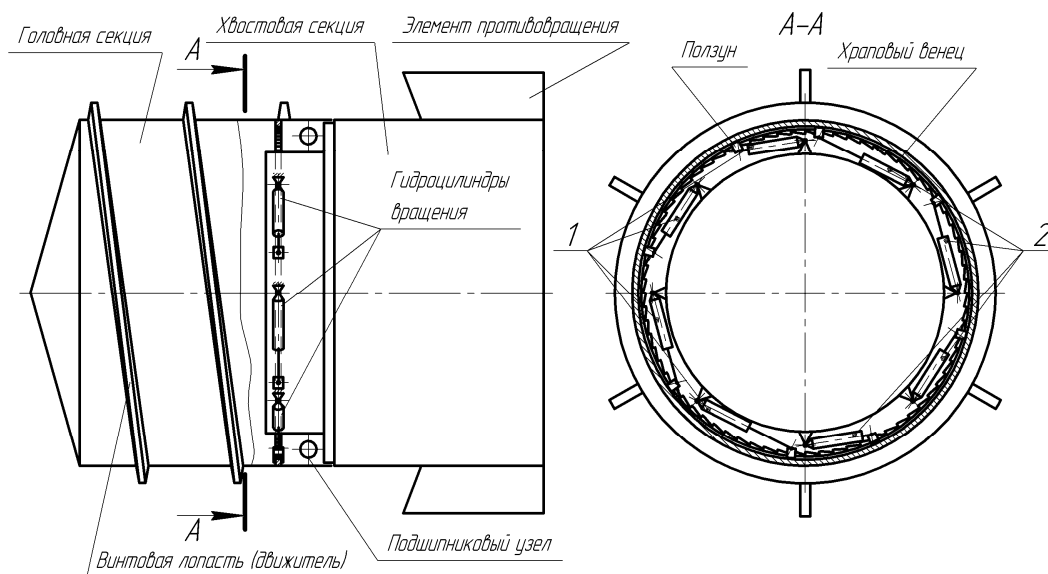


Рис. 1. Схемное решение трансмиссии геолода с непрерывной подачей на забой с двумя группами гидроцилиндров в разных фазах выдвигания в одной плоскости

Ранее авторами уже рассматривались вопросы, связанные с особенностями определения силовых параметров таких трансмиссий [7]. Авторами была предложена математическая модель для определения вращающего момента, развиваемого трансмиссией в зависимости от принятых размеров геолода, требуемого габарита внутреннего пространства, условий проводимых выработок. Также в работе [8] было отмечено, что развиваемый трансмиссией с гидроцилиндрами момент будет периодически меняться, вследствие изменения плеч приложения усилий от гидроцилиндров. Авторами было изучено влияние геометрических параметров трансмиссии и количества гидроцилиндров на величину неравномерности момента.

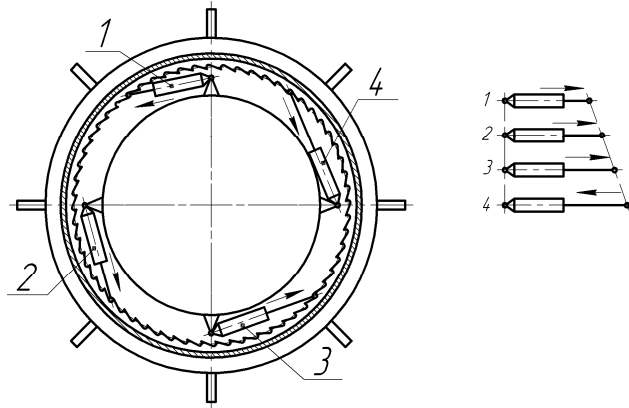


Рис. 2. Схема, поясняющая работу трансмиссии с гидроцилиндрами в разных фазах

В данной статье авторы предлагают рассмотреть особенности определения кинематических параметров трансмиссий вращательного движения с гидроцилиндрами, а именно – угловой скорости и угла поворота выходного звена (головной секции с двигателем) за ход штока гидроцилиндра, а также связь этих параметров с конструктивными параметрами трансмиссии и геометрическими параметрами геохода.

При выдвигании штока гидроцилиндра на величину хода L_X , секция поворачивается на угол φ_{II} , который можно определить из треугольника ABO (рисунок 3)

$$\varphi_{II} = \gamma - \gamma_0, \quad (1)$$

где γ – центральный угол между опорами гидроцилиндра в конечном положении выдвигания штока, т.е. при $L_{p \max} = L_0 + L_X$;

γ_0 – центральный угол между опорами гидроцилиндра в начальном положении выдвигания штока, т.е. при $L_{p \min} = L_0$.

$$\gamma = \arccos \frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2 \cdot (L_0 + L_X)^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}}, \quad (2)$$

$$\gamma_0 = \arccos \frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2L_0^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}}, \quad (3)$$

где $D_{уст.гц}$ – диаметр окружности установки цапф корпусов гидроцилиндров на обечайке хвостовой секции, м; $D_{уст.шт}$ – диаметр окружности вращения цапфы штока на головной секции, м; L_p – расстояние между цапфами корпуса и штока гидроцилиндра при максимальном выдвигании штока, м; L_0 – расстояние между цапфами корпуса и штока гидроцилиндра в сложенном состоянии (при минимальной раздвижности), м.

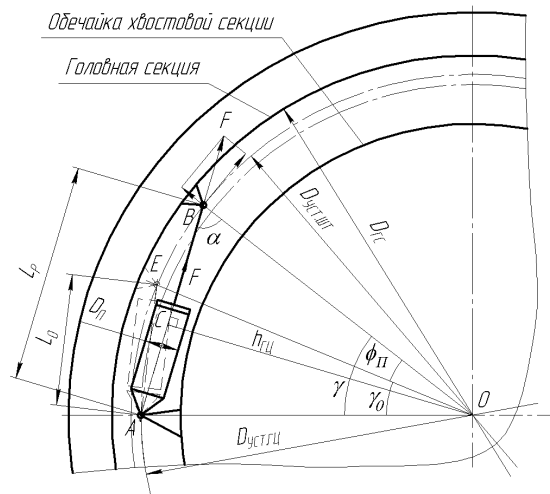


Рис. 3. Схема к определению угла поворота φ головной секции геохода

Подставив выражения (2) и (3) в (1) получим

$$\varphi_{II} = \arccos \frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2 \cdot (L_0 + L_X)^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}} - \arccos \frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2L_0^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}}, \quad (4)$$

При размещении цапф корпусов и штоков гидроцилиндров на одной окружности, т.е. $D_{уст.шт} = D_{уст.гц} = D_{ГЦ}$ угол поворота φ_{II} будет определяться выражением

$$\begin{aligned} \varphi_{II} &= \arccos \frac{D_{ГЦ}^2 - 2 \cdot (L_0 + L_X)^2}{D_{ГЦ}^2} - \arccos \frac{D_{ГЦ}^2 - 2L_0^2}{D_{ГЦ}^2} = \\ &= \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot (L_0 + L_X)^2}{D_{ГЦ}^2} \right) - \arccos \left(1 - \frac{2L_0^2}{D_{ГЦ}^2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Определение угловой скорости вращения головной секции.

При постоянном расходе жидкости $Q(t) = const$, поступающим в поршневую полость гидроцилиндра, поршень со штоком будет выдвигаться с постоянной скоростью U , определяемой выражением

$$v = \frac{Q}{S_{II}}, \quad (6)$$

где $S_{II} = \frac{\pi \cdot D_{II}^2}{4}$ – площадь поршня гидроцилиндра, м²; D_{II} – диаметр поршня гидроцилиндра, м;

Перемещение штока гидроцилиндра (рисунок 3) от начального положения L_0 определим по формуле

$$\delta(t) = vt = \frac{Q}{S_{II}} \cdot t. \quad (7)$$

Угол поворота головной секции $\varphi_{II}(t)$, как функция времени t при выдвигании штока от L_0 до $L_0 + L_X$ в соответствии с выражением (5)

$$\varphi_{II}(t) = \arccos \frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2 \cdot (L_0 + \delta(t))^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}} - \gamma_0, \quad (8)$$

где $\gamma_0 = const$ – угол, определяемый по формуле (3);

Угловая скорость вращения секции $\omega(t)$ будет определяться выражением

$$\omega(t) = \frac{d\varphi_{II}(t)}{dt}, \quad (9)$$

Продифференцировав выражение (8) по времени получим

$$\omega(t) = \frac{4v \cdot (L_0 + vt)}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{D_{уст.гц}^2 + D_{уст.шт}^2}{2} - 2 \cdot (L_0 + vt)^2}{D_{уст.гц} \cdot D_{уст.шт}} \right)^2}}, \quad (10)$$

Аналогично, продифференцировав выражение (4) получим

$$\omega(t) = \frac{4v \cdot (L_0 + vt)}{D_{ГЦ}^2 \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot (L_0 + vt)^2}{D_{ГЦ}^2} \right)^2}}, \quad (11)$$

Как следует из выражений (10) и (11), угловая скорость вращения головной секции $\omega(t)$, также как и развиваемый трансмиссией вращающий момент будет изменяться по мере выдвижения штока гидроцилиндра (рисунок 4). При постоянном расходе рабочей жидкости в поршневой полости $Q(t) = const$ будет реализовываться постоянная скорость перемещения поршня $v(t) = const$, но окружная скорость v_R будет изменяться, что и будет определять изменение угловой скорости вращения головной секции.

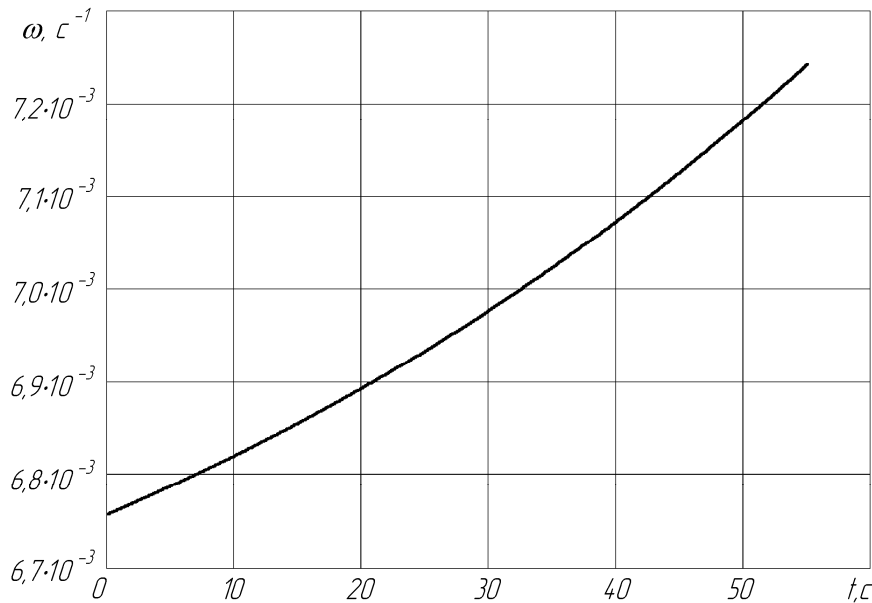


Рис. 4. График изменения угловой скорости вращения головной секции за время выдвижения штока t

Очевидно, что для получения равномерной угловой скорости ($\omega(t) = const$) за период выдвижения штока гидроцилиндра, необходимо чтобы скорость выдвижения $v(t)$ последнего изменялась по определенному закону. Выразив из (11) скорость $v(t)$ получим

$$v(t) = \frac{\sqrt{4D_{ГЦ}^2 - 4L_0^2 + (D_{ГЦ} \cdot \omega \cdot t)^2} - L_0 \cdot \omega \cdot t}{4 + \omega^2 \cdot t^2} \cdot \omega \quad (12)$$

Согласно известному выражению окружная скорость вращения головной секции будет определяться как произведение радиуса вращения – R и угловой скорости – ω [9]

$$v_R = R \cdot \omega, \quad (13)$$

А окружная скорость будет определяться скоростью выдвижения штока гидроцилиндра и углом α между вектором скорости штока v и окружной скоростью v_R (касательной к окружности вращения)

$$v_R = v \cdot \cos \alpha, \quad (14)$$

Выразив из (14) v и подставив вместо v_R выражение (13) получим

$$v = \frac{R}{\cos \alpha} \cdot \omega, \quad (15)$$

В выражении (15) первый множитель представляет собой отношение

$$\frac{R}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{4D_{ГЦ}^2 - 4L_0^2 + (D_{ГЦ} \cdot \omega \cdot t)^2} - L_0 \cdot \omega \cdot t}{4 + \omega^2 \cdot t^2}, \quad (16)$$

Кроме того, необходимо отметить, что в выражениях (12) и (16) произведение $\omega \cdot t$ представляет угол поворота, т.е. $\varphi_{П} = \omega \cdot t$.

Необходимое изменение скорости выдвижения штока можно получить, изменяя количество жидкости, подаваемое в поршневую полость гидроцилиндра в единицу времени, т.е. изменяя расход с учетом выражения $Q = v \cdot S_{\Pi}$

$$Q(t) = \frac{\sqrt{4D_{\Gamma Ц}^2 - 4L_0^2 + (D_{\Gamma Ц} \cdot \omega \cdot t)^2} - L_0 \cdot \omega \cdot t}{4 + \omega^2 \cdot t^2} \cdot \omega \cdot \frac{\pi \cdot D_{\Pi}^2}{4} \quad (17)$$

На рисунке 5 приведен график изменения расхода жидкости для одного гидроцилиндра

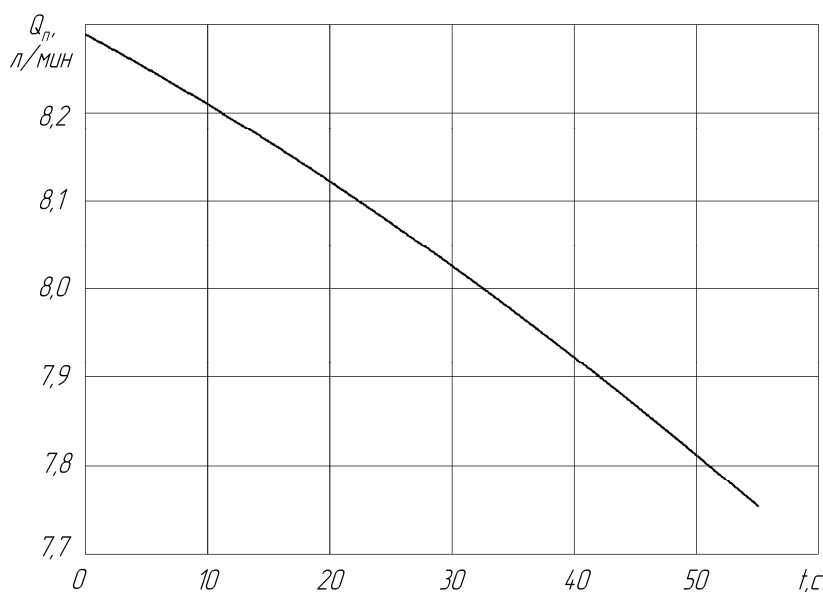


Рис.5. График изменения расхода в поршневой полости гидроцилиндра за время выдвижения штока t

Таким образом, если обеспечить в каждом гидроцилиндре изменение расхода жидкости по заданной функции (выражение (17)) то угловая скорость вращения выходного звена трансмиссии (головной секции геодода) будет оставаться постоянной. Для обеспечения расхода жидкости по заданной функции возможно использование как объёмных, так и дроссельных способов регулирования. Альтернативным способом может быть использование объёмных дозаторов с шаговым приводом [10].

Выводы:

1. Для трансмиссий вращательного движения с гидроцилиндрами, расположенными по хордам при постоянной величине расхода рабочей жидкости в гидроцилиндрах будет иметь место периодическое изменение угловой скорости вращения выходного звена, что связано с изменением пространственного положения штоков гидроцилиндров (аналогично с неравномерностью вращающего момента [7]). Оценка величины кинематической неравномерности требует дополнительных исследований.

2. Для обеспечения равномерного вращения выходного звена в трансмиссиях вращательного движения с гидроцилиндрами, расположенными по хордам, необходимо обеспечить изменение расхода рабочей жидкости по определенному закону в каждом гидроцилиндре, что возможно реализовать достаточно простыми способами – применением объёмных дозаторов, пропорционального управления, и других дроссельных способов регулирования.

Литература.

1. Аксенов В.В., Ефременков А.Б. Геовинчестерная технология и геодоходы – наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства // Уголь/ Москва, 2009– №2. С.26-29.
2. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004, 264 с., ил.
3. Бреннер В.А. и др. Щитовые проходческие комплексы. – М.: Изд-во «Горная книга», МГГУ, 2009. – 447 с.
4. Оценка возможности использования в трансмиссии геодода механических передач / Аксенов В. В., Тимофеев В. Ю., Блащук М. Ю., Тимофеев В. Ю. // Горный информационно-аналитический

- бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal) – 2012 - №. 12 - С. 69-74
5. V.V. Aksenov, V.Yu. Timofeev, J.I. Galjamova. Determination of parameters of roller of wave transmission with intermediate rolling bodies with hollow shaft for geokhod. // Applied Mechanics and Materials. Vol. 682 (2014). Pp.246-250. available at: www.scientific.net/AMM.682.216.
 6. Схемные решения трансмиссии геодохода с гидроприводом / Аксенов В.В.; Хорешок А. А. , Блашук М. Ю. Михеев Д. А. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2013 - №. 4 - С. 18-21.
 7. Force parameters of geokhod transmission with hydraulic drive in various movement phases / A.B. Efremenkov, V.V. Aksenov, and M.Yu. Blashchuk. // The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012, IEEE Catalog Number: CFP12786-PRT, ISBN: 978-1-4673-1770-2, Tomsk Polytechnic University September 17-21. С. 159-164.
 8. Vladimir V. Aksenov, Mikhail Yu. Blaschuk, Mikhail V. Dubrovskii Estimation of torque variation of geokhod transmission with hydraulic drive [Электронный ресурс] // Applied Mechanics and Materials Vol. 379 (2013) pp 11-15. - Режим доступа: www.scientific.net/AMM.379.11
 9. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М., Наука, 1967, с. 480.
 10. Патент на изобретение № 2328625 RU/ Объёмный дозатор для дискретного регулирования скорости и величины перемещений выходных звеньев гидродвигателей / П.Я. Крауиньш, В.Ю. Бегляков, М.Ю. Блашук, С.А. Смайлов. Опубликовано 10.07.2008 Бюл. №19

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГОРНОЙ МАШИНЫ С ПОРОДОЙ

*В.В. Аксенов, д-р т. н., профессор, В.Ю. Бегляков, к.т.н., доцент, Д.В. Рак, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-05-37
E-mail: 55vva42@mail.ru, begljakov@rambler.ru, daya.rak92@mail.ru*

Существует множество различных типов, конфигураций и конструктивных решений исполнительных органов горных машин. Чтобы сделать правильный выбор и определить рациональные параметры исполнительного органа горной машины при её проектировании необходимо оценить характер взаимодействия инструмента с породой забоя. Изготовление экспериментальных образцов и проведение испытаний в горных условиях связано с весьма значительными затратами и не всегда оправдано. К тому же, в настоящее время в нашей стране не существует испытательного полигона для горных машин.

Применение математического моделирования взаимодействия исполнительного органа с породой забоя, и анализ полученных при этом картин напряженно-деформированного состояния (НДС) породы забоя позволит провести теоретические исследования в этом направлении. Это позволит значительно сократить количество «неудачных» образцов горной машины на пути к созданию окончательного варианта.

Учитывая сложный характер нагружения забоя, для решения задачи математического моделирования в данном случае удобно применить методы численных расчетов, а именно метод конечных элементов (МКЭ).

При моделировании взаимодействия многолезцового инструмента с забоем можно приложить к модели нагрузку, имитирующую взаимодействие породы с каждым резцом исполнительного органа с учетом схемы набора и угла поворота исполнительного органа относительно своей оси. Для таких исполнительных органов, как барабан коронка или шнек, это даст представление об НДС в породе забоя только для одного положения (угла поворота) исполнительного органа и только для одной схемы набора.

Если представить суммарную нагрузку от всех резцов исполнительного органа, как эквивалентные распределенные нормальную и касательную нагрузки, приложенные к поверхности контакта инструмента с забоем, то такая нагрузка в равной степени будет соответствовать любому положению исполнительного органа и любой схеме набора.

Для проверки применимости такой замены необходимо оценить сходность влияния распределенной нагрузки с влиянием суммарной нагрузки от нескольких резцов.

Для этого моделировались НДС цилиндрического образца породы диаметром $D = 1200$ мм и высотой $L = 800$ мм с различными схемами приложения нагрузки. Проводился сравнительный анализ результатов моделирования. На рисунке 1 показаны схемы приложения нагрузок к моделям.

Нижний торец модели зафиксирован, а к верхнему прикладывались нагрузки по четырем схемам:

- 1) концентрированная от одного резца в центре торца (рис. 1 б);
- 2) концентрированные от группы резцов, равномерно расположенных по площади круга диаметром $d = 893$ мм (рис. 1 в);
- 3) распределенная нагрузка по площади кольца диаметрами $D/d = 893/200$ мм и от одного резца в центре торца (рис. 1 г);

В местах контакта резца с массивом прикладывались силы нормальная $P_n = 10$ кН и касательная $P_t = 2,5$ кН, распределенные нагрузки нормальная $q_n = 0,303$ МПа и касательная $q_t = 0,076$ МПа эквивалентные суммарной нагрузке от соответствующей группы резцов.

При моделировании для всех схем приложения нагрузки определялись зависимости главных напряжений σ_3 от расстояния H до поверхности в зоне контакта центрального резца (рис. 1 а).

Численные результаты моделирования приведены в таблице 1, картина НДС в зоне действия резца иллюстрируется эпюрами в таблице 2, а сравнение результатов приложения распределенных и точечных нагрузок иллюстрируются графиками на рисунках 2...4.

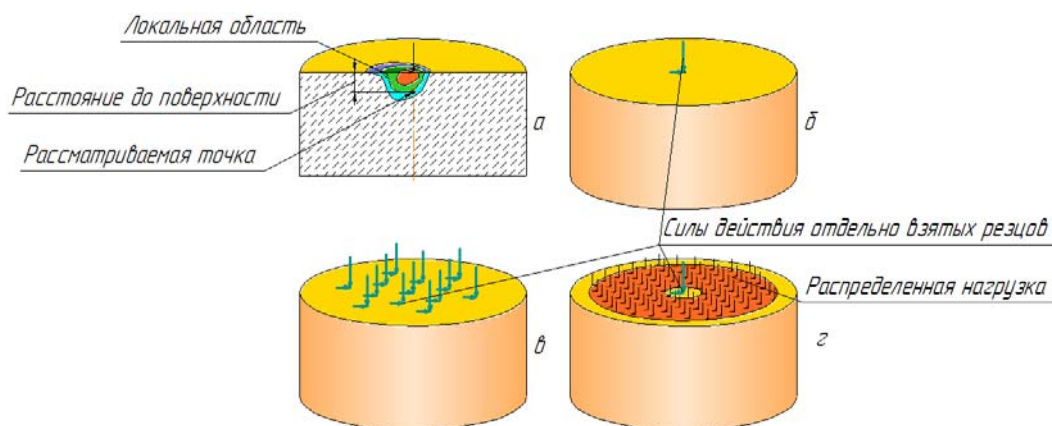


Рис. 1. Схемы приложения суммарной нагрузки:

- а) схема расположения рассматриваемой точки, б) один центральный резец, в) равномерное размещение группы резцов, г) центральный резец и распределенная нагрузка

Таблица 1

Численные результаты моделирования НДС в локальной зоне.

H (мм)	Минимальные значения главных напряжений σ_3 на расстоянии H от поверхности в зоне контакта центрального резца (МПа)					
	σ_{3i}	$\sigma_{3\Sigma}$	$\delta\sigma_{3\Sigma}$	σ_{3iq}	$\delta\sigma_{3iq}$	σ_{3q}
0	-7,275	-7,335	-0,060	-7,341	-0,066	-0,070
1	-5,748	-5,795	-0,047	-5,802	-0,054	-0,056
2	-4,737	-4,785	-0,048	-4,791	-0,054	-0,053
4	-3,076	-3,117	-0,041	-3,122	-0,046	-0,051
8	-2,121	-2,159	-0,038	-2,164	-0,043	-0,046
16	-1,157	-1,178	-0,021	-1,182	-0,025	-0,029
32	-0,408	-0,418	-0,010	-0,421	-0,013	-0,013
64	-0,134	-0,133	0,001	-0,132	0,002	0,001
100	-0,052	-0,033	0,019	-0,038	0,014	0,014
150	-0,021	0,005	0,026	0,001	0,022	0,022

H – расстояние от поверхности в направлении породы
 σ_{3i} – напряжения, вызываемые воздействием одного резца
 $\sigma_{3\Sigma}$ – напряжения, вызываемые суммарным воздействием 13-ти резцов
 σ_{3iq} – напряжения, вызываемые воздействием одного резца и распределенной нагрузки
 σ_{3q} – напряжения, вызываемые воздействием распределенной нагрузки
 $\delta\sigma_{3\Sigma} = \sigma_{3\Sigma} - \sigma_{3i}$ и $\delta\sigma_{3q} = \sigma_{3iq} - \sigma_{3i}$ влияние (изменения от приложения) суммарной и распределенной нагрузок

Таблица 2

Эпюры главных напряжений σ_3 для оценки влияния суммарной и распределенной нагрузок на НДС в локальной зоне

Шкала	Схемы нагружения модели		
	1 резец (рис. 1 б)	Группа резцов (рис. 1 в)	Распределенная нагрузка и 1 резец (рис. 1 г)
0...0,1 МПа			
0...0,2 МПа			
0...0,4 МПа			
0...0,8 МПа			
0...1,6 МПа			

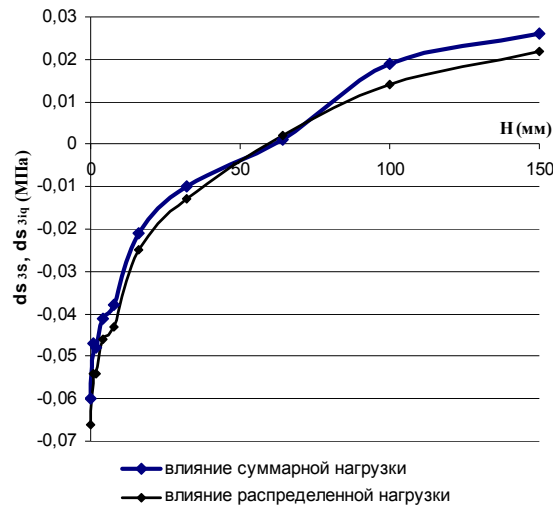


Рис. 2. Влияние суммарной и распределенной нагрузок

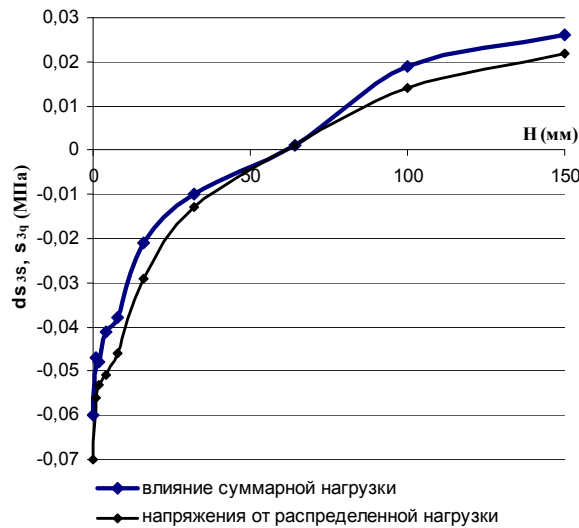


Рис. 3. Влияние суммарной и напряжения от распределенной нагрузок

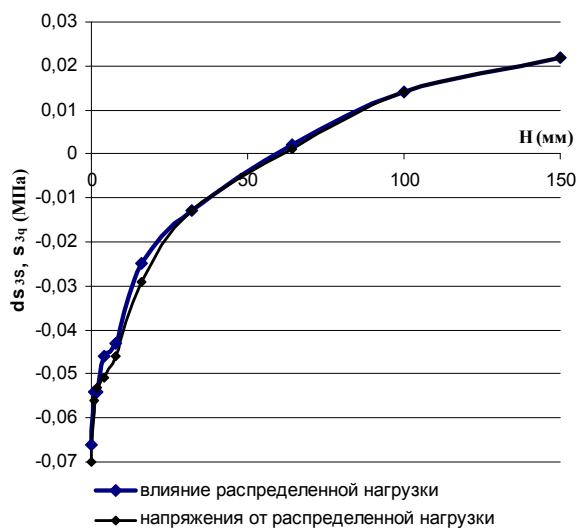


Рис. 4. Влияние и напряжения от распределенной нагрузки

По результатам моделирования сравнивались:

- 1) влияния суммарной и распределенной нагрузок на картину НДС в зоне контакта центрального резца (рис. 2);
- 2) влияние суммарной нагрузки с напряжениями от приложения распределенной нагрузки (рис. 3);
- 3) влияние распределенной нагрузки с напряжениями от неё же (рис. 4)

Сравнение результатов моделирования и эпюр напряжений (таблица 2) показало, что суммарная нагрузка от всех резцов оказывает влияние, сходное с влиянием от эквивалентной распределенной нагрузки.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) распределенная нагрузка, эквивалентная суммарной, оказывает влияние на напряжения в локальных зонах, сходное по значению и распространению с влиянием суммарной нагрузки;
- 2) применение распределенных нагрузок может быть использовано, как инструмент при математическом моделировании взаимодействия исполнительного органа с горной породой.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОФИЗИКИ ДВУХКОНТУРНОЙ ТЕПЛОТВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

В.П. Кузнецов, д.т.н., в.н.с., А.С. Скоробогатов, аспирант, В.Г. Горгоц, к.т.н., доц.

Курганский государственный университет

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25, тел (3522)-23-03-91

E-mail: wpkuzn@mail.ru

Введение

Наноструктурирующее выглаживание – метод финишной обработки деталей интенсивной пластической деформацией, обеспечивающий повышение прочности и пластичности поверхностного слоя за счёт формирования наноразмерной структуры [1,2].

Повышение производительности наноструктурирующего выглаживания невозможно без обеспечения эффективного отвода тепла, выделяющегося в процессе обработки давлением с трением. Охлаждение детали и инструмента наружной СОТС может обеспечить отвод тепла, но существенно снижает силу трения индентора с поверхностным слоем, необходимую для создания интенсивной пластической деформации сдвига. В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективной теплоотводящей системы инструмента, позволяющей значительно повысить скорость обработки при достаточной для наноструктурирования силе трения.

В последнее время выполнен ряд работ, связанных с разработкой и исследованием различных способов отвода тепла от инструмента. Так, Ferrì [3] предложил систему подвода хладагента к режущей пластине. При контакте с пластиной хладагент испаряется и с поглощением тепла выводится через специальный канал. Vicentin и Sanchez [4,5] предложили теплоотводящую систему режущего инструмента с холодильной установкой, в которой охлаждённый теплоноситель подаётся к режущей пластине токарного инструмента. В работах [1,6] предложена теплоотводящая система выглаживающего инструмента с подводом жидкой СОТС к индентору через фрезерный шпиндель токарно-фрезерного центра. При использовании данной теплоотводящей системы удалось повысить максимальную скорость выглаживания цементованной закалённой стали 20X (55 HRC) инструментом с наконечником индентора из ультрамелкозернистого кубического нитрида бора (DBN) до 20 м/мин.

Для существенного повышения производительности наноструктурирующего выглаживания предлагается двухконтурная теплоотводящая система инструмента (ДТСИ) с применением термоэлектрических элементов (ТЭМ) Пельтье. Целью исследования является создание математической модели предлагаемой системы для установления взаимосвязи температуры наконечника индентора с тепловыми параметрами и мощностью, отводимого теплового потока.

Физическая и эквивалентная тепловая схемы двухконтурной теплоотводящей системы инструмента

На рисунке 1 приведена физическая схема ДТСИ инструмента, который содержит два контура теплообмена, соединённых с модулем охлаждения. В качестве модуля охлаждения впервые применён ТЭМ Пельтье (поз. 5), установленный между двумя водоблоками (поз. 4 и 6). Для обеспечения теплового контакта на основании водоблоков и обкладки ТЭМ наносится тонкий слой терморасты. ТЭМ охлаждает теплоноситель в контуре А через водоблок (поз. 4). Охлаждённый теплоноситель

подаётся в канал инструмента и подводится к индентору, где посредством конвективного теплообмена отводит тепло от наконечника (поз. 1) через оправку (поз. 2). В результате теплоноситель нагревается, после чего подаётся обратно в водоблок для охлаждения. Циркуляцию теплоносителя в контуре А осуществляет насос (поз. 7). Водоблок (поз. 6) соединён со станочной системой подачи СОТС, образуя контур В. Теплоноситель контура В отводит тепло от ТЭМ через водоблок (поз. 6). Отведённое от ТЭМ тепло в дальнейшем рассеивается.

Тепловой поток $q_{\text{и}}$ проходящий через наконечник индентора разделяется на два: 1) в корпус инструмента $q_{\text{ки}}$ и 2) во внутреннюю теплоотводящую систему $q_{\text{вТС}}$. Тепловой поток $q_{\text{ки}}$ через корпус инструмента рассеивается в окружающую среду и механизмы станка. Тепловой поток $q_{\text{вТС}}$ переносится теплоносителем контура А, где поглощается на обкладке ТЭМ. Поглощенный тепловой поток $q_{\text{вТС}}$ суммируется с тепловыми потоками $q_{\text{дж}}$ и $q_{\text{зсб}}$, образующимися в ТЭМ и выделяется на противоположной обкладке ($q_{\text{сп}}$).

Тепловой поток $q_{\text{пел}}$ переносится теплоносителем контура В и рассеивается в СОТС станочной системы.

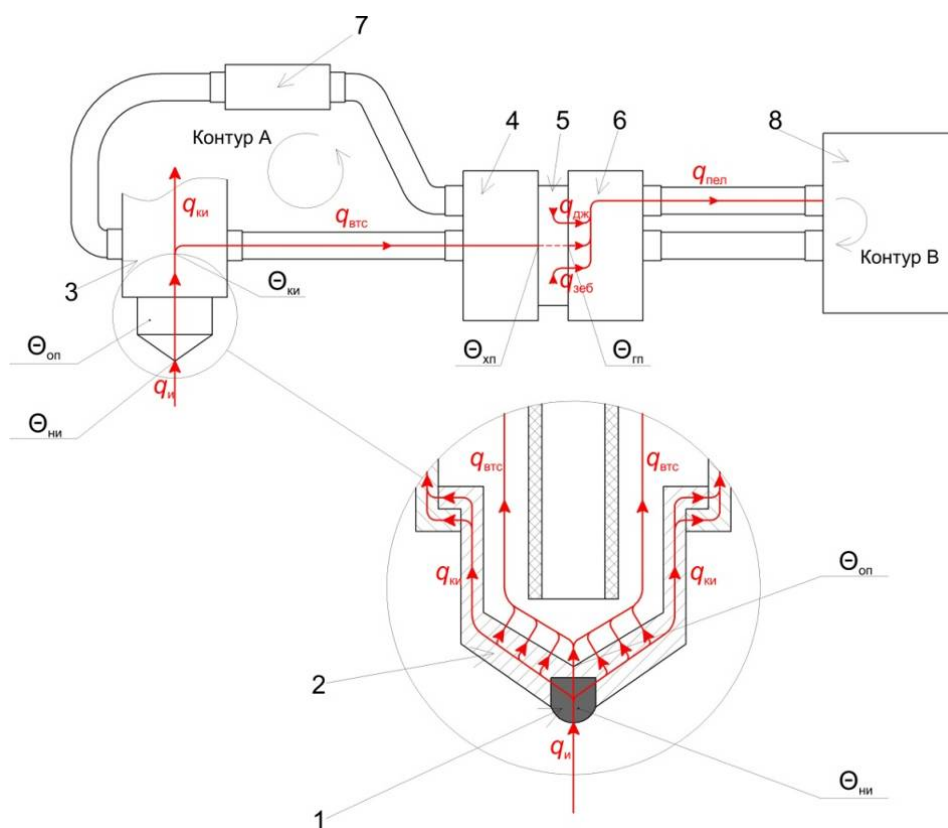


Рис. 1. Физическая схема двухконтурной теплоотводящей системы выглаживающего инструмента

Оценка эффективности теплоотводящей системы проводится по температуре наконечника индентора $\Theta_{\text{ни}}$. При создании конструкции ДТСИ необходимо установить температуру оправки индентора $\Theta_{\text{ни}}$, а также температуры «холодной» $\Theta_{\text{хп}}$ и «горячей» $\Theta_{\text{гп}}$ обкладок ТЭМ.

Анализ процессов переноса тепла в ДТСИ выполнен методом тепловых схем (ТС), основанном на использовании тепловых сопротивлений, которые соединяются в сеть, имитирующую реальные пути передачи тепла [7]. Метод ТС является частным случаем метода конечных элементов и состоит в разбиении сложной разветвлённой тепловой системы на конечные элементы с дискретными тепловыми сопротивлениями.

На основе правил метода тепловых схем физическая схема ДТСИ преобразована в эквивалентную тепловую схему (рис. 2) и определены пути передачи тепла в корпус инструмента и в теплоотводящую систему. В эквивалентной тепловой схеме ТЭМ представлен в виде совокупности элементов согласно подходу, разработанному в работе Alaoui [8].

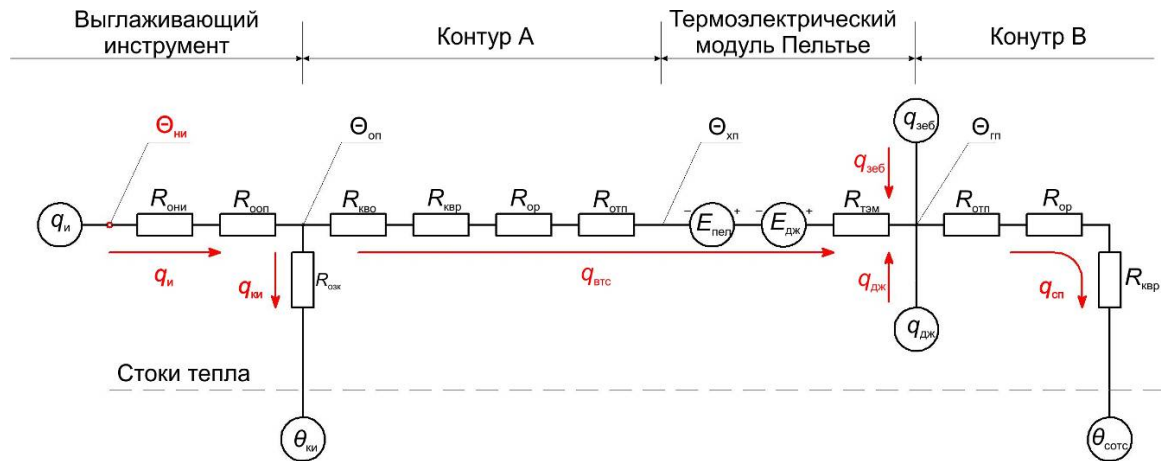


Рис. 2. Эквивалентная тепловая схема двухконтурной теплоотводящей системы выглаживающего инструмента

Схема замещения эквивалентной тепловой схемы двухконтурной теплоотводящей системы инструмента

На основе эквивалентной тепловой схемы ДТСИ построена схема замещения, которая позволяет определить температуры в узлах тепловой схемы на основе законов Кирхгофа и Ома. В схеме замещения тепловые сопротивления выражены через эквивалентные электрические сопротивления, источники тепловыделения – в виде эквивалентных источников тока, а температура в узлах определяются эквивалентными узловыми потенциалами. Для упрощения расчётов эквивалентные сопротивления схемы замещения представлены в виде обратных величин – проводимостей G .

Для перехода от эквивалентной тепловой схемы к расчётной схеме замещения составлены таблицы проводимостей G и температур Θ (таблицы 1 и 2).

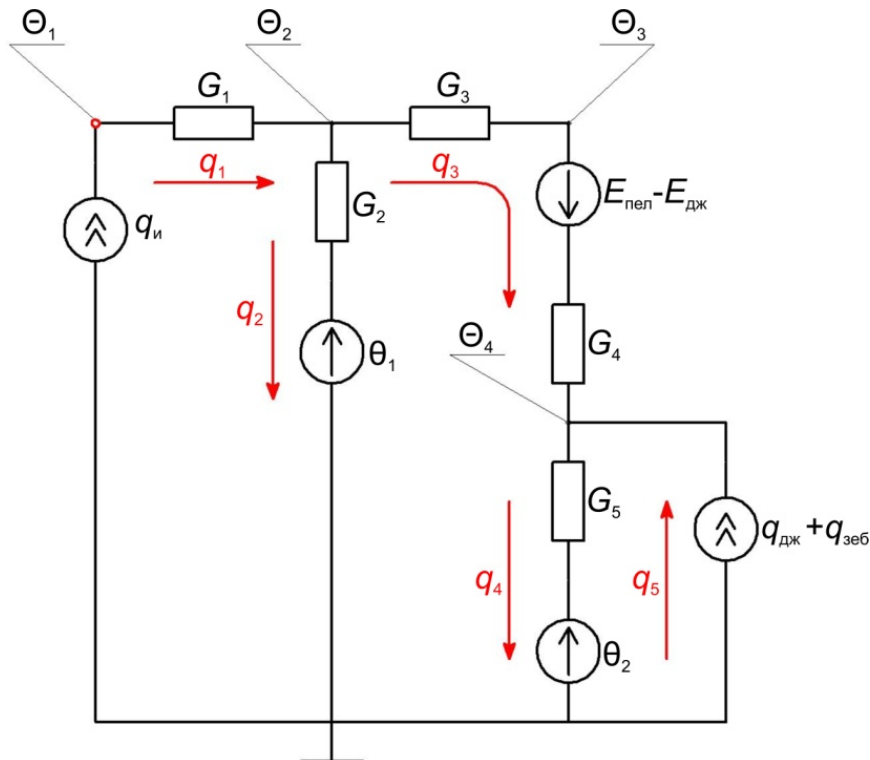


Рис. 3. Схема замещения двухконтурной теплоотводящей системы выглаживающего инструмента

Таблица 1

Взаимосвязь проводимостей схемы замещения
и сопротивлений эквивалентной тепловой схемы

Схема замеще-	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
Эквивалентная тепловая схема	$\frac{1}{R_{\text{они}} + R_{\text{ооп}}}$	$\frac{1}{R_{\text{озк}}}$	$\frac{1}{R_{\text{кво}} + R_{\text{квр}} + R_{\text{оор}} + R_{\text{отп}}}$	$\frac{1}{R_{\text{тэм}}}$	$\frac{1}{R_{\text{отп}} + R_{\text{оор}} + R_{\text{квр}}}$

Таблица 2

Соответствие температур на схеме замещения
и эквивалентной тепловой схеме

Схема замещения	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	θ_1	θ_2
Эквивалентная тепловая схема	$\Theta_{\text{ни}}$	$\Theta_{\text{оп}}$	$\Theta_{\text{хп}}$	$\Theta_{\text{гп}}$	$\theta_{\text{ки}}$	$\theta_{\text{сотс}}$

Математическая модель двухконтурной теплоотводящей системы инструмента

Математическая модель теплофизики ДТСИ представляет собой систему линейных уравнений теплового баланса (1), полученных на основе теории электрических цепей [9].

$$\begin{cases} \Theta_1 G_1 - \Theta_2 G_1 = q_{\text{и}} \\ -\Theta_1 G_1 - \Theta_2 (G_1 + G_2 + G_3) - \Theta_3 G_3 = \theta_1 G_1 \\ -\Theta_2 G_3 + \Theta_3 (G_3 + G_4) - \Theta_4 G_4 = -(E_{\text{пел}} - E_{\text{дж}}) G_4 \\ -\Theta_3 G_4 + \Theta_4 (G_4 + G_5) = (E_{\text{пел}} - E_{\text{дж}}) G_4 + \theta_2 G_5 + q_{\text{дж}} + q_{\text{зеб}} \end{cases} \quad (1)$$

Входным параметром тепловой модели является мощность теплового потока $q_{\text{и}}$, отводимого от наконечника индентора, а искомыми – температуры Θ_i в узлах схемы. При этом об эффективности теплоотводящей системы можно судить по зависимости температуры Θ_1 наконечника индентора от мощности $q_{\text{и}}$. Точность определения температур Θ_i зависит от адекватности моделей тепловых сопротивлений элементов эквивалентной тепловой схемы.

Математические модели элементов тепловой схемы двухконтурной теплоотводящей системы инструмента

Установленные математические модели элементов эквивалентной тепловой схемы ДТСИ представлены в таблице 3.

Тепловые сопротивления $R_{\text{орз}}$, $R_{\text{ооп}}$, $R_{\text{озк}}$ и $R_{\text{кво}}$ определены с использованием соотношений, описанных в [1], ввиду использования аналогичной конструкции инструмента. Элементы, описывающие поведение ТЭМ в системе, определены в соответствии с методикой, описанной в работе [8]. Тепловые сопротивления элементов теплообменника $R_{\text{квр}}$, $R_{\text{оор}}$ и $R_{\text{отп}}$ определены по теплофизическим свойствам их материала и геометрическим размерам [7]. Описание параметров моделей элементов в приведено таблице 4.

Таблица 3

Математические модели элементов тепловой схемы ДТСИ

Наименование элемента модели	Математическая модель
Объемное тепловое сопротивление материала наконечника индентора	$R_{\text{они}} = \frac{h_{\text{оэ}}}{\lambda_{\text{рз}} A_{\text{грз}}}$
Объемное тепловое сопротивление оправки индентора	$R_{\text{ооп}} = \frac{h_{\text{оп}}}{\lambda_{\text{оп}} A_{\text{гоп}}}$
Объемное тепловое сопротивление зазора Δ_3 между оправкой индентора и корпусом инструмента	$R_{\text{озк}} = \frac{\ln \frac{r_{\text{к}}}{r_{\text{и}}}}{2\pi \lambda_{\text{сз}} l_3}$
Контактное конвективное тепловое сопротивление индентора при протекании теплоносителя	$R_{\text{кво}} = \frac{1}{\alpha_{\text{во}} A_{\text{тво}}}$

Международная научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы современного машиностроения»

Наименование элемента модели	Математическая модель
Контактное конвективное тепловое сопротивление радиатора водоблока	$R_{\text{квр}} = \frac{1}{\alpha_p A_{\text{тр}}}$
Объёмное тепловое сопротивление основания радиатора водоблока	$R_{\text{оор}} = \frac{l_{\text{ов}}}{\lambda_{\text{ов}} A_{\text{ов}}}$
Объёмное тепловое сопротивление термопасты между основанием водоблока и керамической пластиной ТЭМ	$R_{\text{отп}} = \frac{l_{\text{тп}}}{\lambda_{\text{тп}} A_{\text{тп}}}$
Тепловое сопротивление ТЭМ	$R_{\text{тэм}} = \frac{\Delta\Theta_{\text{max}}}{I_{\text{max}} U_{\text{max}}} \cdot \frac{2 \cdot \Theta_{\text{гп}}}{(\Theta_{\text{гп}} - \Delta\Theta_{\text{max}})}$
Электрическое сопротивление ТЭМ	$R = \frac{U_{\text{max}}}{I_{\text{max}}} \cdot \frac{(\Theta_{\text{гп}} - \Delta\Theta_{\text{max}})}{\Theta_{\text{гп}}}$
Коэффициент Зеебека ТЭМ	$a = \frac{U_{\text{max}}}{\Theta_{\text{гп}}}$
Эффект Пельтье ТЭМ	$E_{\text{пел}} = I \cdot a \cdot \Theta_{\text{хп}} \cdot R_{\text{тэм}}$
Эффект Джоуля ТЭМ	$E_{\text{дж}} = \frac{I^2 \cdot R_{\text{тэм}} \cdot R}{2}$
Мощность теплового потока Джоулевого тепла, выделяющегося в ТЭМ	$q_{\text{дж}} = I^2 \cdot R$
Мощность теплового потока Зеебекова тепла, выделяющегося в ТЭМ	$q_{\text{зэб}} = I \cdot a \cdot (\Theta_{\text{гп}} - \Theta_{\text{хп}})$

Таблица 4

Параметры математических моделей элементов эквивалентной тепловой схемы ДТСИ

Обозначение параметра	Описание параметра
$h_{\text{оз}}$	Длина наконечника индентора
$\lambda_{\text{рз}}$	Теплопроводность материала наконечника индентора
$A_{\text{трз}}$	Площадь поперечного сечения наконечника индентора
$h_{\text{оп}}$	Длина оправки индентора
$\lambda_{\text{оп}}$	Теплопроводность материала поправки индентора
$A_{\text{топ}}$	Площадь поперечного сечения оправки индентора
$r_{\text{к}}$ и $r_{\text{и}}$	Соответственно радиусы корпуса инструмента и оправки наконечника индентора
l_3	Длина поверхности зазора между оправкой наконечника индентора и корпусом инструмента
$\lambda_{\text{сз}}$	Теплопроводность среды в зазоре между оправкой и корпусом инструмента
$\alpha_{\text{во}}$	Коэффициент теплоотдачи при внутреннем отводе тепла в оправке индентора
$A_{\text{тво}}$	Площадь контакта внутренней полости оправки индентора и теплоносителя
$\alpha_{\text{р}}$	Коэффициент теплоотдачи при теплообмене в радиаторе водоблока
$A_{\text{тр}}$	Площадь контакта радиатора водоблока и теплоносителя
$l_{\text{ов}}$	Толщина основания радиатора водоблока
$\lambda_{\text{ов}}$	Теплопроводность материала основания радиатора водоблока
$A_{\text{ов}}$	Площадь поперечного сечения основания радиатора водоблока
$l_{\text{тп}}$	Толщина слоя термопасты
$\lambda_{\text{тп}}$	Теплопроводность термопасты
$A_{\text{тп}}$	Площадь слоя термопасты
$\Delta\Theta_{\text{max}}$	Максимальная разница температур на обкладках ТЭМ
$\Theta_{\text{гп}}$	Температура горячей обкладки ТЭМ
I_{max}	Максимальный ток через ТЭМ
U_{max}	Максимальное напряжение на ТЭМ
I	Рабочий ток через ТЭМ

Результаты моделирования двухконтурной теплоотводящей системы инструмента

Параметры ТЭМ заданы в соответствии с документацией на термоэлектрический охладитель (thermoelectric cooler) TEC1-12706. Температура корпуса инструмента $\theta_{ки}$ и температура СОТС $\theta_{сотс}$ в контуре В приняты равными 300 К. Время моделирования принято равным 720 секунд. Для исследования изменения температуры наконечника индентора $\Theta_{ин}$ диапазон изменения мощности теплового потока $q_{ин}$, задан от 0 до 15 Вт в соответствии с данными работы [1] при наноструктурирующем выглаживании закалённых конструкционных сталей.

На рисунке 4 приведены результаты моделирования двухконтурной теплоотводящей системы инструмента для наноструктурирующего выглаживания (поз. 1), системы [1,6] (поз. 2) с подводом смазочно-охлаждающей жидкости через фрезерный шпиндель токарно-фрезерного центра, а так же при наноструктурирующем выглаживании без охлаждения (поз. 3).

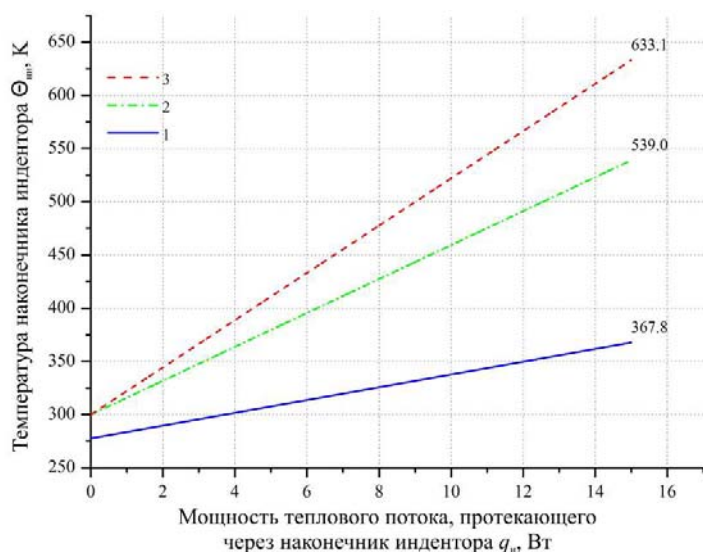


Рис. 4. Зависимости температуры наконечника индентора $\Theta_{ин}$ от мощности теплового потока $q_{ин}$ при использовании различных теплоотводящих систем и при наноструктурирующем выглаживании без охлаждения

живании без охлаждения.

Показано, что температура наконечника индентора при использовании двухконтурной теплоотводящей системы на $\sim 32\%$ ниже, чем при использовании системы с подводом смазочно-охлаждающей жидкости через шпиндель токарно-фрезерного центра и на $\sim 72\%$ ниже, чем при наноструктурирующем выглаживании без охлаждения.

Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение НИР № 01201461774 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-38-50423.

Литература.

1. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей: Дисс. док. техн. наук. – Курган, 2013. – 341 с.
2. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г., Скоробогатов А.С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехника. – 2014. – №2. – С.86-89
3. C. Ferri, T. Minton, S. B. C. Ghani, K. Cheng, Internally-cooled tools and cutting temperature in contamination-free machining, Journal of Mechanical Engineering Science January 2014, vol. 228, no. 1, pp. 135-145.
4. L. E. A. Sanchez, V. L. Scalon, G. G. C. Abreu, Cleaner Machining Through a Toolholder with Internal Cooling, Proceedings of third international workshop on advances in cleaner production, São Paulo, Brazil, May 2011, pp. 18-20.
5. G. C. Vicentin, L. E. A. Sanchez, V. L. Scalon, G. G. C. Abreu, A sustainable alternative for cooling the machining processes using a refrigerant fluid in recirculation inside the toolholder, Clean Technologies and Environmental Policy 2011, vol.13, Issue 6, pp. 831-840.

Выводы

1. Разработана математическая модель теплофизики двухконтурной теплоотводящей системы инструмента для наноструктурирующего выглаживания, позволяющая устанавливать взаимосвязь температуры наконечника индентора с тепловыми параметрами системы.
2. Установлены зависимости температуры наконечника индентора от мощности теплового потока, протекающего через инструмент при использовании разработанной двухконтурной теплоотводящей системы и системы с подводом смазочно-охлаждающей жидкости через фрезерный шпиндель токарно-фрезерного центра, а так же при наноструктурирующем выгла-

6. Кузнецов В.П. Технология наноструктурирующего выглаживания на основе теоретического обоснования и создания инструмента с теплоотводящей системой // Научные технологии в машиностроении. – 2013. – №11(29). – С.19–30.
7. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.
8. C. Alaoui, Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation, International Journal of Engineering (IJE), Volume (5) : Issue (1) : 2011, pp. 114-121.
9. Зевеке Г.В., Ионкик П.А., Негушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.: ил.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Г. Смелов, к.т.н., В.В. Кокарева, аспирант, А.Н. Малыхин, магистрант

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева

(национальный исследовательский университет)

443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: victoriakokareva@gmail.com

Сегодня основной целью любой производственной службы предприятия является модернизация и развитие средств оперативного планирования и его оптимизация. Основным объектом оптимизации служит продолжительность производственного процесса (механическая обработка, сборка, операции контроля и т.п.), которая в конечном итоге выражается в денежном эквиваленте. Для решения столь сложных технических задач планирования производственных систем необходимо применять методы моделирования для определения оптимального времени и последовательности обработки, планировки цеха, базирующиеся на принципах бережливого производства. Основопологающим элементом данной концепции выступает процесс идентификации и ликвидации любого рода производственных потерь: перепроизводство, ожидание, транспортировка, нетребуемые действия, брак. Наиболее производительным методом определения и устранения потерь в производственной системе является имитационное моделирование (симуляция), так как производственная система является системой типа «вход-выход», где объекты, проходя определенные последовательности операций, образуют готовую продукцию. Соответственно при моделировании можно определить производительность, стоимость, как отдельной операции, так и общую. В данной работе предлагается использовать Tecnomatix Plant Simulation, с помощью которого можно визуализировать и оптимизировать производственный поток, потребление и распределение ресурсов на любом уровне планирования. В построенной имитационной модели цеха или его участка за счет средств симуляции можно реализовать систему производства JIT (Just-In-Time)/JIS (just in sequence), Kanban.

В методологии бережливого производства выделяют пять факторов: понимание потребительской ценности, выявление потока создания ценности каждого вида продукта или производственного процесса с устранением потерь, организация «выталкивающей» производственной системы, которая обеспечит непрерывность потока, ликвидируя «заскладированность», постоянное улучшение качества производства. При этом применяют следующие инструменты: *Kanban*, процесс, при котором используются яркие карты для обозначения места производства, куда требуется доставить и обработать изделие, что таким образом, контролирует уровень запасов; *poke-a-yoke*, применение новшества для исключения ошибок (например, проектирование двух частей машины, которые могут быть соединены только одним, заведомо правильным способом); *yellow Andon cord*, который используется на сборочной линии, для разрешения любому работнику в любое время прекратить производство и встретиться с коллегами, чтобы оценить проблемы и определить решения; и *kaizen*, которое улучшает производственные процессы в малых, кросс-функциональных командах в течение 5-10 дней.

Технологии создания модели при планировании производства определяют оптимальный выбор технологии производства (расцеховку) для изготовления номенклатуры изделий, основанный на максимизации общей прибыли или других критериев эффективности процесса с учетом ограничений: мощность оборудования, сырьевые материалы, доступность и т.д. Входные данные для этой задачи берутся из системы планирования производства выбранной номенклатуры изделий. Целью модернизации производственного процесса является назначение рабочих на операции, при условии кратчайшего производственного расстояния, максимизируя ожидаемую производительность и производственную мощность. В наиболее сложных ситуациях решение модернизации производственной системы представляется в виде графа технологического маршрута для выбранной номенклатуры изделий, рис. 1.

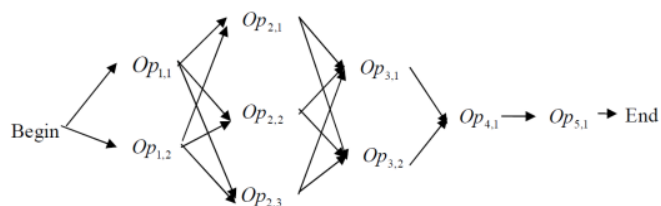


Рис. 1. Общая структура технологического процесса

В данной работе мы построили простую производственную модель в Plant Simulation для отработки средств оптимизации пропускной способности системы, «узких» мест и минимизации потерь. Моделирование включает применение средств статистического анализа, графиков и дисплеев использования накопителей, оборудования и рабочих в системе. Производственная модель настроена на выпуск изделий «Вал» и «Муфта» согласно производственному плану TableFileUnion (Рис. 2). На модели (рис. 3) операции занимают определенные технологией производства положения: *Milling* позиция 1, *Drilling or Cutting* позиция 2, *Tapping* позиция 3 и *Painting* позиция 4.

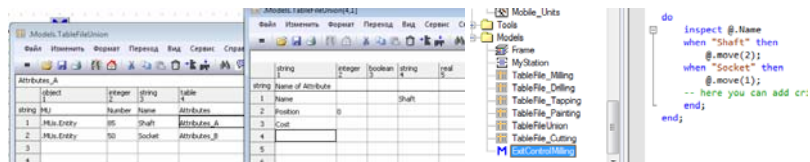


Рис. 2. Добавляемый набор данных: TableFileUnion и ExitControl Milling

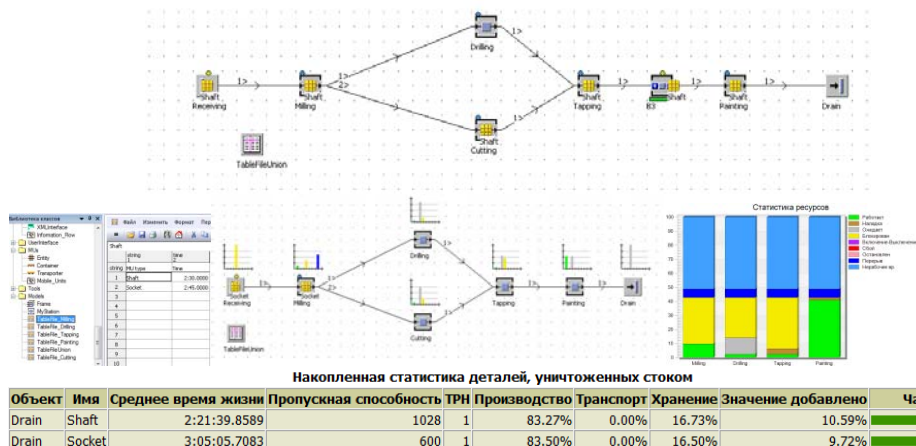


Рис. 3. Имитационная модель производственной системы

Для обеспечения наибольшей пропускной способности 1628 изделий за 30 дней и устранения узких мест (желтые столбцы) мы создали *Exit Control of Milling* (распределение деталей по рабочим станциям) и определили атрибуты для каждого изделия. А также определили оптимальную выходную стратегию оборудования - *Most Recent Demand* и размер *buffer*, что в итоге привело к увеличению производительности системы на 20% .

Литература.

1. Amelia Natasya, Abdul Wahaba, Muriati Mukhtara, Riza Sulaimanb, A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions, *Procedia Technology*. 11 (2013) 1292 – 1298.
2. S. Borojevic, V. Jovisevic, S. Jokanovic, Modeling, simulation and optimization of process planning, *Journal of Production Engineering*. Vol.12, No.1., 88-92.
3. Milan Fiřo, Jaromir Markovič, Marek Kliment, Peter Trebuřa, PLM Systems and Tecnomatix Plant Simulation, a Description of the Environment, Control Elements, Creation Simulations and Models, *American Journal of Mechanical Engineering*. 2013, Vol. 1, No. 7, 165-168.
4. Ondřej Kurkin, Michal Šimon, Optimization of Layout Using Discrete Event Simulation, *IBIMA Publishing*. Vol. 2011 (2011), Article ID 180343, 10 pages.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И
ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ПЛАНИРУЕМОГО
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

И.Н. Статников, к.т.н., в.н.с., Г.И. Фирсов, с.н.с.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва
101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, тел. (495) 624-00-72*

E-mail: firsovgi@mail.ru

Проектирование и создание динамических систем по существу есть процесс сотворения человеком искусственной природы, которая помогает ему выжить в условиях естественной природы. Отсюда и постоянная задача человека (человечества) – повышение эффективности систем искусственной природы с точки зрения его выживания. На протяжении тысячелетий эта задача решалась, в основном, методом проб и ошибок. С появлением теоретических наук и, прежде всего, естественных (физика, математика, теоретическая механика и др.) крен в решении вышеупомянутых задач смещается в сторону расчётов при наличии математических описаний создаваемых систем – математических моделей (ММ).

Рост численности населения Земли, климатическое разнообразие условий жизни постоянно приводят к усложнению ММ – необходимости более подробного математического описания функционирования проектируемой системы и, как следствие, возникновению всё более и более изощрённых аналитических методов решения проблем, приближаясь к возможному пределу интеллектуальных усилий человека. Но вторая половина XX века отодвинула куда-то этот предел: возникли электронные вычислительные машины (ЭВМ), постоянно совершенствующиеся до сих пор по двум важным параметрам (объём памяти ЭВМ и её быстродействие).

В настоящей работе под решением задачи проектирования динамической системы понимаем комплекс рекомендаций по выбору значений конструктивных параметров системы и условий управления работой системы, обеспечивающих её максимальную эффективность по технико-экономическим и экологическим критериям качества. Такое понимание явно свидетельствует о том, что задачи проектирования динамических систем - многопараметрические и многокритериальные.

С теоретической точки зрения эффективность применения того или иного метода оптимизации, понимаемой широко, существенно зависит от степени адекватности используемой ММ реальным динамическим процессам, происходящих в создаваемом или усовершенствуемом устройстве. Разумеется, в узком смысле, при использовании одной и той же математической модели всегда имеет место конкуренция различных методов оптимизации (по точности, по скорости сходимости результатов расчётов, по ясности интерпретации этих результатов). Но уже при числе критериев $K \geq 2$ и числе анализируемых (а в ПЛП-поиске – варьируемых) параметров $J \geq 3$ стало практически бессмысленным говорить об оптимизации искомых решений в узком смысле, а речь может идти только об отыскании **рациональных решений** задачи, что чаще всего соответствует поиску компромиссных решений. Но в этом случае сама эффективность применения того или иного метода становится заложницей объема и качества априорной информации, имеющейся к моменту начала решения прикладной задачи оптимизации.

Одним из путей решения проблемы может стать применение различных эвристических приемов сокращения пространства параметров, в котором происходит поиск наилучших решений. Поэтому кажется очевидным, что наиболее привлекательными становятся такие методы поиска рациональных решений, которые, при наличии адекватной ММ, требуют минимума априорной информации о решаемой задаче, более того, позволяют по ходу решения получать такую информацию легко и просто. Такие методы, естественно, называть универсальными. К ним будем относить семейство методов Монте-Карло и их различные модификации [1]. В основе использования этих методов лежат принципы случайного поиска решения задачи и статистической обработки получаемых результатов, что и делает такой подход универсальным. Но платой за такую универсальность является определенная “слепота”, и это приводит к громадным объемам вычислений даже для современных ЭВМ, тем более что имеет место рост размерности решаемых задач (растут число фазовых координат, число конструктивных параметров J , число критериев качества K , характеризующих систему (объект)). А громадные объемы получаемой информации при проведении вычислительных экспериментов естественно затрудняют ее интерпретацию. Возникла потребность сочетания универсальности метода Монте-Карло с элементами более интеллектуального анализа результатов численных экспериментов, чем простая констатация статистических оценок, то есть усовершенствования технологии проведе-

ния математических экспериментов. Полагаем, что в значительной мере указанной потребности удовлетворяет метод ППП-поиска (метод планируемого ЛП – поиска) [2-5]. Отметим, что успешность применения ППП-поиска обуславливается тем, что этот метод сочетает идеи дискретного обзора пространства анализируемых параметров и теории планирования математических экспериментов [6], он предназначен, в основном, для применения на предварительном этапе решения задачи, когда полученная информация позволяет принять решение об использовании других методов (но значительно эффективнее), или об окончании решения (такое тоже возможно).

Как указывалось в работе [5], в основание метода положена рандомизация расположения в области $G(\vec{\alpha})$ векторов $\vec{\alpha}$, рассчитываемых по ЛП-сеткам [7], и которая возможна благодаря тому, что весь вычислительный эксперимент производится сериями. В ППП-поиске на сегодняшний день можно варьировать одновременно значения до 51-го параметров ($J = 51$). Для рандомизации (случайного смещения уровней варьируемых параметров α_{ijk}) дискретного обзора $G(\vec{\alpha})$ могут быть использованы многие существующие таблицы равномерно распределенных по вероятности целых чисел. В целях экономии памяти ЭВМ в ППП-поиске алгоритм рандомизации построен на использовании датчика псевдослучайных чисел q ($0 < q < 1$) из [7]. Рандомизация состоит в том, что для каждой h -ой серии экспериментов ($h = 1, \dots, H(i, j)$), где $H(i, j)$ – объем выборки из элементов для одного критерия Φ_{ijk} , вычисляется свой вектор случайных номеров строк $\vec{j} (j_{1h}, \dots, j_{\beta h})$ в таблице направляющих числителей (ТНЧ) по формуле:

$$j_{\beta h} = [R * q] + 1, \quad (1)$$

а значения α_{ij} в h -ой серии рассчитываются с помощью линейного преобразования

$$\alpha_{ijh} = \alpha_{j^*} + Q_{ihj\beta h} \times \Delta\alpha_j, \quad (2)$$

где: $\Delta\alpha_j = \alpha_{j^{**}} - \alpha_{j^*}$, $\alpha_{j^{**}}$ и α_{j^*} – соответственно верхние и нижние границы области $G(\vec{\alpha})$; $\beta = 1, \dots, J$; R – любое целое число (в ППП-поиске $R = 51$); j – фиксированный номер варьируемого параметра; $i = 1, \dots, M(j)$ – номер уровня j -го параметра в h -й серии; $M(j)$ – число уровней, на которое разбивается j -ый параметр; в общем случае $j_{\beta h} \neq j$ (в чем и состоит одна из целей рандомизации). Было доказано с помощью критерия Романовского [8], что числа $j\beta h$, вырабатываемые по формуле (1), оказываются совокупностью равномерно распределенных по вероятности целых чисел. Обратим внимание, что $M(j)$ и есть количество экспериментов, реализуемых в одной серии. И если $M(j) = M = \text{const}$ и $H(i, j) = H = \text{const}$, то в этом случае параметры NO , M и H связаны простым соотношением:

$$NO = M * H, \quad (3)$$

где NO – общее число вычислительных экспериментов (ВЭ), при этом длина выборки из Φ_{ijk} в точности равна H . Но в общем случае, когда $M(j) = \text{var}$, то и $H(i, j) = \text{var}$, и тогда формула (3) для одного критерия примет такой вид:

$$NO = \sum_{i=1}^{M(j)} H(i, j). \quad (4)$$

С помощью формул (1) и (2) в ППП-поиске реализуются следующие варианты матриц планируемых экспериментов:

I. $M = \text{const}$; NO считается по формуле (3); в этом случае можно строить МПЭ для таких случаев:

а) $\varepsilon = 0$; учитываются точные значения границ области $G(\vec{\alpha})$, но в этом случае необходимо увеличивать число экспериментов NO , так частота появления граничных значений α_j в 2 раза меньше частоты появления внутренних значений этого параметра;

б) $0 < \varepsilon \ll 1$; границы изменения j -го параметра образуют интервал $(\alpha_{j^*} + \varepsilon; \alpha_{j^{**}} - \varepsilon)$, а далее расчёт по формуле (2);

в) $0 < \varepsilon \ll 1$; границы изменения j -го параметра образуют интервал $(\alpha_{j^*} - \varepsilon; \alpha_{j^{**}} + \varepsilon)$, а далее расчёт по формуле (2);

II. $M_j = \text{var}$; в этом случае также возможны три варианта построения МПЭ, но для каждого j -го параметра берётся своё ε_j ; при этом $0 < \varepsilon_j \ll 1$.

Для проведения однофакторного дисперсионного анализа [9] по всем параметрам для каждого критерия производится сортировка результатов вычислений, полученных при вычисления в точках матрицы планируемых экспериментов (МПЭ). В результате сортировки для одного критерия будет получено J матриц, состоящих из элементов Φ_{ijk} , а для K будет получено $J * K$ матриц, состоящих из элементов Φ_{ijnk} , где k - номер критерия. Этот анализ позволяет принять (или отвергнуть) с требуемой вероятностью $P \geq 1 - \beta$, где β - заданный уровень значимости, следующую нулевую гипотезу: средние значения $\bar{\Phi}_{ijk}$ не существенно (случайно) отличаются от общего среднего значения k -го критерия $\bar{\Phi}_{ok}$. Если принят положительный ответ (гипотеза принята), то допускается на следующем этапе решения задачи несущественно влияющий параметр α_j не варьировать, а зафиксировать одно из его значений, например, $\alpha_j = \alpha_{ij}$ для такого i , где $\bar{\Phi}_{ijk}$ имеет наилучшее значение в смысле искомого экстремума.

Процесс рандомизации расположения векторов $\bar{\alpha}$ в области $G(\bar{\alpha})$ состоит в случайном смешении уровней параметров α_{ijhk} тем или иным способом, где $i = \overline{1, M(j)}$ - номер уровня, а $M(j)$ - число уровней варьируемого j -го параметра по k -му критерию; $h = \overline{1, H_{ijk}}$, а H_{ijk} - число значений k -го критерия $\Phi_k(\bar{\alpha})$ на i -м уровне j -го параметра; $k = \overline{1, K}$ - номер критерия, где K - количество критериев качества. В результате обработки всех N вычислительных экспериментов, проведенных на математической модели, появляются выборочные множества значений $\{\bar{\Phi}_{ijk}(\alpha_{ij})\}$, где $\bar{\Phi}_{ijk}(\alpha_{ij})$ - среднее значение k -го критерия качеств в i -м сечении j -го варьируемого параметра. Естественно рассматривать множество значений $\{\bar{\Phi}_{ijk}(\alpha_{ij})\}$ как аналог чувствительности в среднем критерия $\Phi_k(\bar{\alpha})$ к изменениям параметра α_j при возможных сочетаниях значений других варьируемых параметров в заданной области $G(\bar{\alpha})$. Анализ графических зависимостей $\bar{\Phi}_{ijk}$ от α_{ij} позволяет визуально выделять области $G_k(\bar{\alpha}) \subseteq G(\bar{\alpha})$, концентрированно содержащие наилучшие результаты по $\Phi_k(\bar{\alpha})$, и одновременно, область $G_0(\bar{\alpha}) \subseteq G(\bar{\alpha})$, в которой сконцентрировано множество Парето-решений, либо компромиссных решений, если задана какая-либо схема компромисса. На сегодняшний день все алгоритмы ПЛП - поиска реализованы в пакете MATLAB [4].

Структура разработанного пакета включает следующие основные этапы:

1) определение существенных параметров α_m ($m \leq J$) в смысле их влияния на значения каждого критерия $\Phi_k(\bar{\alpha})$;

2) выделение областей концентрации $G_k(\bar{\alpha})$ наилучших решений по каждому критерию $\Phi_k(\bar{\alpha})$ при заданной метрике $\rho(\Phi_k(\bar{\alpha}), \Phi_k^+)$ где Φ_k^+ - экстремальное значение k -го критерия качества, заранее известное или определяемое по ходу проведения вычислительных экспериментов;

3) построение на основе определенных существенных параметров и выделенных подобластей регрессионных зависимостей $\bar{\Phi}_k = \Psi_k(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$;

4) выделение в K -мерном пространстве критериев множества с высокой концентрацией точек Парето (или, если возможно, построение поверхности Парето); в случае задания какой-либо схемы компромисса - выделение подобласти $G_0(\bar{\alpha}) \subseteq G(\bar{\alpha})$, содержащую наибольшую концентрацию требуемых компромиссных решений.

Наличие графических зависимостей $\bar{\Phi}_{ijk}(\alpha_{ij})$, а также возможность определения влияющих параметров на критерии качества с требуемой достоверной вероятностью, в значительной мере решают проблему интегрирования огромной численной информации, полученной в эксперименте, в ясные и поддающиеся логическому анализу характеристики.

Ниже приведены некоторые из примеров использования ПЛП-поиска при решении задач проектирования различных динамических систем. Здесь ММ – математическая модель, НДУ – нелинейное дифференциальное уравнение, ЛДФ – линейное дифференциальное уравнение, УРЧП – дифференциальное уравнение в частных производных.

1. Поворотный делительный стол с гидромеханическим приводом. ММ: 3 НДУ второго порядка. $J = 9$. $K = 3$. Результат: найдена область компромиссных решений, объём которой составил $\sim 0,2\%$ от исходно заданной.

2. Пневморегулятор давления повышенной точности. ММ: 4 НДУ второго порядка. $J = 4$. $K = 1$. Результат: найдена область лучших решений с объёмом в $0,5\%$ от исходно заданной.

3. Пневмовстряхивающая машина. ММ: 4 НДУ второго порядка. $J = 8$. $K = 1$. Результат: определены 4 влиятельных параметра; выделенная область составила 5% от исходно заданной.

4. Многоконтурная планетарная зубчатая передача. ММ: 23 ЛДУ неоднородных второго порядка $J = 25$. $K = 6$. Результат: определены 8 параметров, одновременно влиявших на все критерии.

5. Швейная машина. ММ: 5 ЛДУ неоднородных второго порядка. $J = 6$. $K = 5$. Результат: в выделенных областях построены регрессионные зависимости собственных частот от параметров ММ.

6. Резонансный преобразователь для судовых валопроводов. ММ: 2 НДУ второго порядка. $J = 6$. $K = 1$. Результат: определены два влиятельных параметра; значение критерия улучшилось в $5,2$ раза по сравнению с аналогичным в исходной области.

7. Трансмиссия главного привода рабочей клетки прокатного стана. ММ: 5 НДУ второго порядка. $J = 5$. $K = 5$. Результат: найдена область компромисса, составляющая $\sim 3,5\%$ от исходно заданной.

8. Теплообменный аппарат. ММ: 1 УРЧП. J от 8 до 18. $K = 4$. Результат: определены для каждого J существенные параметры и построены области компромисса.

Мы видим, что в каждом из приведенных примеров реализуются один или одновременно несколько пунктов из формализованной постановки. Более того, полученные результаты носили практический характер, и могли быть основанием для завершения расчётов. Ещё более важно то, что при решении каждой из указанных задач возникали вопросы у авторов задач к результатам их решения, которые нельзя было предвидеть заранее, даже при аналитической проработке.

Последнее, во-первых, естественно при использовании дискретных методов, а, во-вторых, имелись явные вероятностные оценки. Таким образом, метод ПЛП-поиска не только позволяет на основе проведения имитационных модельных экспериментов осуществить квазиравномерный просмотр пространства параметров в заданных диапазонах их изменения, но и в результате специально рандомизированного характера планирования этих экспериментов применить количественные статистические оценки влияния изменения варьируемых параметров и их парных сочетаний на анализируемые свойства рассматриваемой динамической системы. При этом путем построения аппроксимационных моделей критериев в зависимости от варьируемых параметров оказывается возможным провести оценку чувствительности критериев в среднем по этим параметрам.

Эффективность планов экспериментов в ПЛП-поиске обусловлена не только возможностью их использования в дисперсионном анализе. Эти планы оказываются эффективными и при построении регрессионных зависимостей, и вообще в регрессионном анализе, как в вычислительном аспекте, так и с позиции ряда критериев оптимальности этих планов. В частности, для случая линейной, квадратичной и кубической регрессии получены значения определителя информационной матрицы Фишера и пределы изменения дисперсии предсказанных значений.

Анализ полученных формул показал, что с ростом числа экспериментов в серии, числа серий экспериментов и числа варьируемых параметров значения определителя информационной матрицы Фишера растут, тем самым делая указанные планы близкими по свойствам к ортогональным; все корреляционные оценки коэффициентов регрессионных моделей для каждой из рассматриваемых регрессий обладают хорошей сходимостью к нулю. Например, для случая десяти серий экспериментов, восьми экспериментов в серии и трех варьируемых параметров соответствующие линейной, квадратичной и кубической регрессии составляют 22500, 27000 и 18750. При этом любая из серий построенного плана экспериментов будет D-оптимальна.

Подведем некоторые итоги. Доказывая эффективность ПЛП-поиска по сравнению со “слепым” способом поиска экстремумов, не предлагается отбрасывать последний. Однако, очевидно, что ПЛП-поиск не только может помочь скорейшему поиску экстремумов, если это требуется, но и дает информацию о влиятельности варьируемых параметров и, что также важно, способствует возникновению вопросов, связанных с исследованием пространства варьируемых параметров (в частности, результаты ПЛП-поиска могут помочь выбрать эффективную схему компромисса).

Итак, можно утверждать, что если принято решение исследовать сначала сформулированную задачу дискретным способом (что полезно даже в том случае, когда удаётся получить аналитические

зависимости, но очень сложные), то ППП-поиск представляется весьма эффективным методом компьютерных технологий в смысле ранее упомянутой их второй составляющей.

Кроме того, все алгоритмы ППП-поиска легко программируются, допускают диалоговый режим работы. В работе [10] приведена MATLAB-программа датчика псевдослучайных чисел. Также укажем, что общее число варьируемых параметров ≤ 50 , а число вычислительных экспериментов ограничивается только временем счёта каждого варианта.

Литература.

1. Бусленко Н.П., Голенко Д.И., Соболев И.М. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). - М.: Физматгиз, 1962. - 322 с.
2. Статников И.Н., Фирсов Г.И. О некоторых возможностях ППП-поиска в решении задач моделирования и исследования динамических систем машин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. - № 1. - С.92-96.
3. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Решение задач проектирования динамических систем интеллектуальным методом ППП-поиска // Вестник Московского финансово-экономического университета. 2012. № 1. С.28-33.
4. Статников И.Н., Фирсов Г.И. ППП-поиск и его реализация в среде MATLAB // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. - М.: ИПУ РАН, 2004. - С.398-411.
5. Статников И.Н., Андреевков Е.В. ППП-поиск – эвристический метод решения задач математического программирования. - М.: ИИЦ МГУДТ, 2006. - 140 с.
6. Налимов В.В. Теория эксперимента. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1982. - 256 с.
7. Соболев И.М. Многомерные квадратные формулы и функции Хаара. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1969. - 288 с.
8. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1971. - 576 с.
9. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1980. - 512 с.
10. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Об одной технологии дискретного зондирования пространства исследуемых параметров // Современные информационные технологии. - Пенза: Пензенская гос. технол. академия, 2004. - С.63-68.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНЕЧНО ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ЦИЛИНДРОВ В SOLIDWORKSSIMULATIONS

*Г.Д. Буялич ***, д.т.н., профессор, А.В. Анучин *, ст. преподаватель, А.А. Дронов *, аспирант*

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8 (38451)-6-05-37

***Кузбасский государственный технический университет*

имени Т.Ф. Горбачева

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Россия, тел. +7 (3842)-39-69-40

E-mail: gdb@kuzstu.ru, anuchin_a.v@mail.ru

Введение

Россия является одним из мировых лидеров по производству угля. В ее недрах сосредоточена треть мировых ресурсов угля и пятая часть разведанных запасов – 193,3 млрд т. Из них 101,2 млрд т бурого угля, 85,3 млрд т каменного угля (в том числе 39,8 млрд т коксующегося) и 6,8 млрд т антрацитов. Промышленные запасы действующих предприятий составляют почти 19 млрд т, в том числе коксующихся углей – около 4 млрд т [1].

Основную часть коксующихся углей добывают на шахтах в комплексно-механизированных забоях (КМЗ). Динамика нагрузки на КМЗ за последние 14 лет неуклонно возрастает, но их количество сокращается. Поэтому надежность и долговечность КМЗ выходит на первый план.

Работа КМЗ в основном определяется работой механизированной крепи, основным несущим элементом которой является гидравлическая стойка (рис. 1) [2]. В связи с этим исследование параметров гидравлических стоек (гидростоек) в направлении повышения их работоспособности являются актуальными.

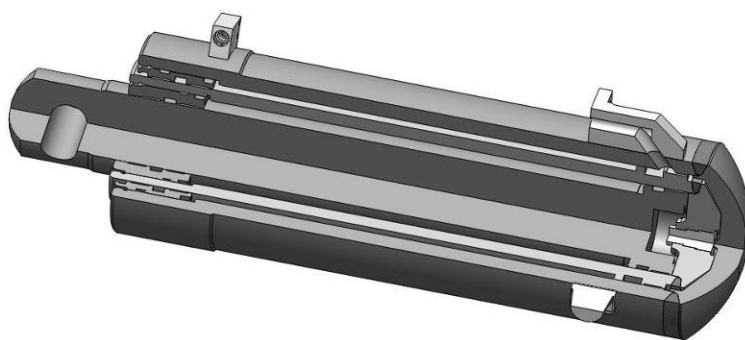


Рис. 1. Гидростойка крепи М138

В настоящее время для решения практических задач твердого тела посредством численных алгоритмов широко используется метод конечных элементов (МКЭ). Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) и определения основных параметров гидростоек, была разработана конечно-элементная модель в программной среде SolidWorksSimulation. Данный программный продукт позволяет создать и провести исследования трехмерной модели изделия. Данное приложение широко используется в сфере компьютерных инженерных расчетов, а также для решения различных задач механики деформируемого твердого тела. Кроме этого, используя дополнительный модуль SolidWorksFlowSimulation, данный комплекс позволяет производить моделирование взаимодействия жидких сред металлоконструкциями [3,4].

Для получения достоверных результатов проведения исследований необходимо обоснование параметров трехмерных моделей и граничных условий, в противном случае процесс расчетов может занять длительное время, а полученные результаты моделирования могут иметь большую погрешность. Основная задача для исследования НДС цилиндра гидростойки – это обоснование центрального угла модели α (рис. 2) и определение размера конечного элемента по толщине цилиндра.

Влияние угла α на точность конечно-элементного решения модели цилиндра гидростойки

Исследования проводились на модели цилиндра гидравлической стойки М138. Построение трехмерной модели производилось путем поворота вокруг продольной оси симметрии контуров рабочего цилиндра, дна и сварочного шва на центральный угол α (рис. 2). Для сравнения качества моделей данный угол принимал значения 90° , 180° и 360° . В качестве материала всех перечисленных элементов гидроцилиндра принята сталь 30ХГСА, основные свойства которой составляли: модуль упругости $E=2,05 \cdot 10^{11}$ Па, предел текучести $[\sigma_T]=830 \cdot 10^6$ Па, коэффициент Пуассона $\mu_T=0,3$. Описанные варианты моделей представлены на рис. 3.

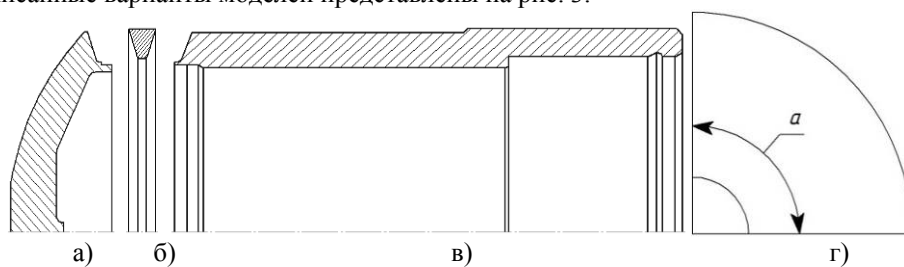


Рис. 2. Контурсы модели цилиндра гидростойки
(а – дно цилиндра; б – сварной шов, в – цилиндр, г – центральный угол α)

Для компенсации воздействия отброшенной части конструкции к поверхностям расчетной модели для угла $\alpha=90^\circ$, 180° , применялось граничное условие "Симметрия". Для всех моделей к сферической части дна цилиндра применялось граничное условие "На сферических гранях" с запретом перемещения вдоль продольной оси цилиндра. При моделировании условий взаимодействия деталей в сборке используется контактное условие "Нет проникновения" с опцией "Поверхность с поверхностью". Сварной шов, соединяющий дно и трубу цилиндра, моделируется отдельной деталью [5–9]. Размер конечного элемента выбирался в соответствии с рекомендациями [10] и составлял 6 мм, тип

используемой сетки: "Сетка на твёрдом теле", используемое разбиение: "Сетка на основе кривизны". Построение сетки производилось в автоматическом режиме.

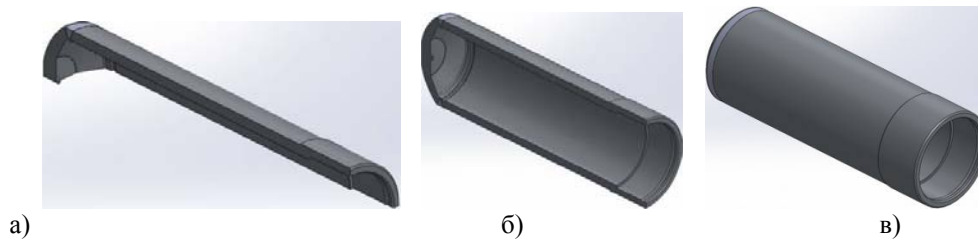


Рис. 3. Конечно-элементные модели цилиндра гидростойки М138
(а – $\alpha=90^\circ$; б – $\alpha=180^\circ$; в – $\alpha=360^\circ$)

Для нагружения модели цилиндра к внутренним поверхностям рабочего цилиндра и дна прикладывалось давление, соответствующее испытательному давлению рабочей жидкости, которое, согласно программе и методике испытаний на прочность для данной гидростойки, составляет $P_{исп}=60$ МПа. Каждая модель нагружалась в четырёх вариантах раздвижности: $0,25H$, $0,5H$, $0,75H$, H , где H – раздвижность штока первой ступени гидростойки М138 (рис. 4).

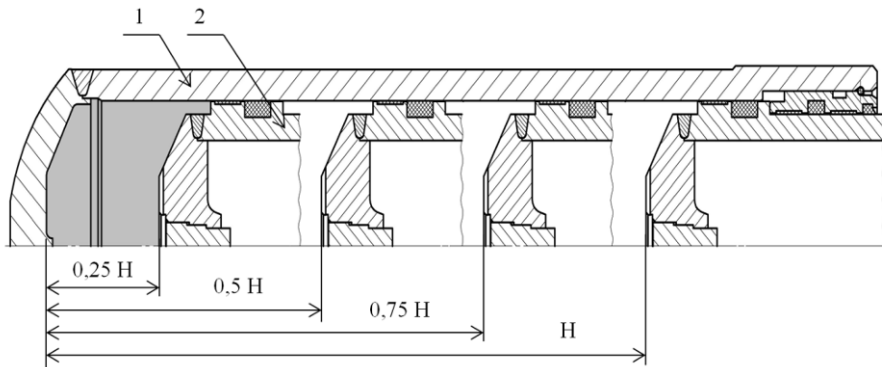


Рис. 4. Расположение штока первой ступени в цилиндре гидростойки М138 при различной раздвижности (1 – цилиндр, 2 – шток первой ступени)

Полученные результаты моделирования снимались для каждой модели в определённых областях зависимости от центрального угла (рис. 5). Для модели с $\alpha=90^\circ$ область снятия данных – № 1, № 2; для модели с $\alpha=180^\circ$ – № 1, № 2, № 3; а для модели с $\alpha=360^\circ$ – № 1, № 2, № 3, № 4.

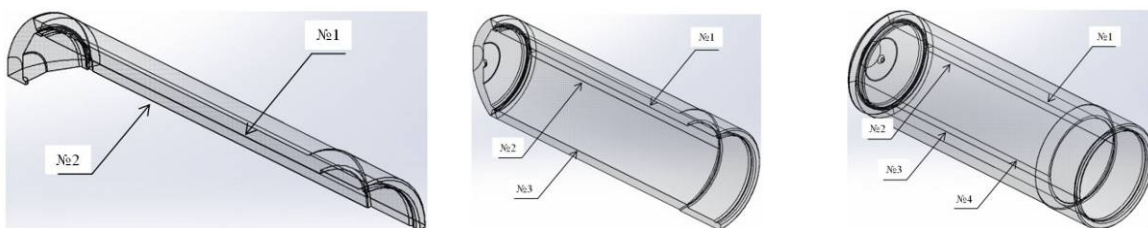


Рис. 5. Области снятия данных с модели для моделей с центральными углами $\alpha=90^\circ$, $\alpha=180^\circ$, $\alpha=360^\circ$

В результате конечно-элементного решения описанных выше моделей были определены напряжения по Мизесу на основе этого – погрешности для различных областей, в которых происходил съём данных (в соответствии с рис. 6). Погрешности вычислялись по сравнению с результатами решения модели с центральным углом $\alpha=360^\circ$, так как она является наиболее полной.

На рис. 5 приведены примеры распределения погрешностей вычислений по длине цилиндра в пределах приложенного давления при раздвижности $L=0,25H$.

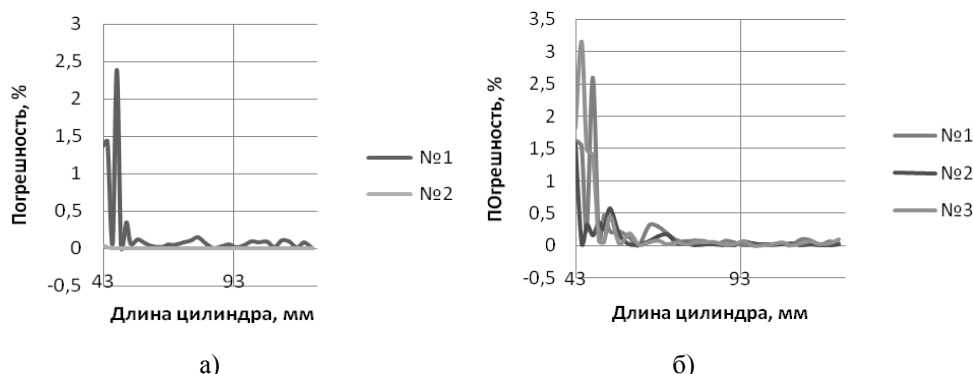


Рис. 6. Пример построения графиков относительной погрешности для моделей с углом: $\alpha=90^\circ$ (а) и $\alpha=180^\circ$ (б)при нагружении цилиндра давлением на $L=0,25H$

Анализ погрешностей, полученных по всем вариантам моделей, показывает, что максимальные их значения составляют для моделей с $\alpha=90^\circ$ от 2,2 до 3,8 %, а для моделей с $\alpha=180^\circ$ – от 2,0 до 4,2 %, при этом максимумы расположены вблизи сварного шва.

Для дальнейших исследований была принята модель с центральным углом $\alpha=90^\circ$, так как она более точная и при её использовании используется меньшее количество элементов, что уменьшает время расчётов.

Влияние сетки конечных элементов

Так как построение сетки производилось автоматически и с заданием точного размера конечного элемента, то программа обрабатывала построение сетки по всей геометрии модели с одним размером элемента (рис. 7). Как видно из рисунка в местах сопряжения, по умолчанию программа не производила уплотнение сетки, что при исследовании показало максимальную погрешность в результатах именно в местах сопряжения сварного шва с цилиндром и дном цилиндра. Необходимо определить размер конечного элемента для цилиндра, дна цилиндра и сварного швапо отдельности.

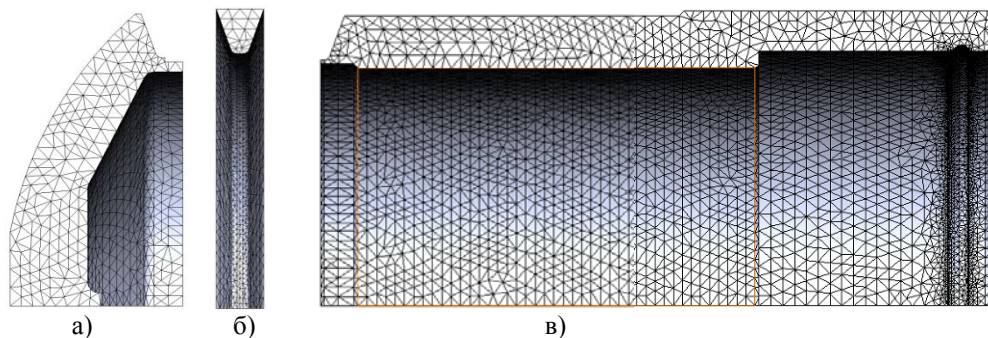


Рис. 7. Построение сетки для модели цилиндра гидростойки в автоматическом режиме (а – дно цилиндра; б – сварной шов, в – рабочий цилиндр)

Величина конечного элементаопределялась как отношение толщины (h) стенки цилиндра к количеству целого числа элементов(Δ),помещающихся в стенку цилиндра (h/Δ). Для рассматриваемой гидравлической стойки толщина стенки составляет $h=24$ мм, следовательно, для численных экспериментов с сеткой можно использовать конечные элементы для цилиндра и дна с величиной: 24 мм, 12 мм, 8 мм, 6 мм, 4 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм; для сварного шва: 24 мм, 12 мм, 8 мм, 6 мм, 4 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм, 0,8 мм, 0,5 мм, 0,4 мм.

Были проведены численные эксперименты по определению напряжений по Мизесу,которые показали, что оптимальной величиной для исследования является размер конечного элемента для цилиндра и дна цилиндра равным 4 мм, для сварного шва –0,4 мм. Уменьшение величины конечного элемента приводит к возрастанию погрешности исследования и увеличивает время расчетов.

Вывод

С точки зрения наименьшей погрешности и максимальной производительности вычислений наиболее рациональной является модель с центральным углом $\alpha=90^\circ$. При этом рациональная величина конечного элемента должна быть равна: для цилиндра и дна – $1/6$, а для сварного шва – $1/60$ от толщины стенки рабочего цилиндра гидростойки.

Литература.

1. Таразанов, И. Итоги работы угольной промышленности России за январь–сентябрь 2013 года. – Уголь. – 2013. – № 12. – С. 57–71.
2. Анализ концентраторов напряжений и усовершенствование конструкции гидростоек / П. В. Бурков, А. В. Воробьев, А. В. Анучин, В. П. Бурков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2011. – Отд. вып. : Горное машиностроение. – С. 172–183.
3. Chinakhov, D. A. Study of Thermal Cycle and Cooling Rate of Steel 30XГСА Single-Pass Weld Joints // Applied Mechanics and Materials Vol. 52–54 (2011) pp 442–447 © (2011) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.52–54.442.
4. Chinakhov, D. A. Simulation of Active Shielding Gas Impact on Heat Distribution in the Weld Zone // Applied Mechanics and Materials Vol. 762 (2013) pp 717–721 © (2013) Trans Tech Publication, Switzerland doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.762.717.
5. Буялич, Г. Д. Разработка модели для исследования гидростоек на статическую прочность в среде SolidWorks Simulations / Г. Д. Буялич, А. В. Воробьев, А. В. Анучин // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012 : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 1–2 нояб. 2012 г. В 2-х т. Т. 1. / КузГТУ. – Кемерово, 2012. – С. 153–156.
6. Буялич, Г. Д. Методика составления модели гидростойки механизированной крепи для расчетов методом конечных элементов / Г. Д. Буялич, А. В. Воробьев, А. В. Анучин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – Отд. вып. 7 : Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. – С. 257–262.
7. Буялич, Г. Д. Сравнительный анализ твердотельных моделей гидростойки крепи М138 / Г. Д. Буялич, А. В. Анучин // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 28–29 нояб. 2013 г. – Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2013. – С. 34–39.
8. Буялич, Г. Д. Влияние размерности модели на расчёт параметров цилиндров гидростоек / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 5. – С. 42–44.
9. Буялич, Г. Д. Результаты расчетов цилиндра с различными типами конечных элементов / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – № 6. – С. 20–21.
10. Буялич, Г. Д. Оценка точности конечно-элементной модели рабочего цилиндра гидростойки крепи = Estimate of the accuracy of the finite element model of the cylinder of the hydraulic prop / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 203–206.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОБОЛОЧЕК КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ГЕОХОДА

А.В. Вальтер, к.т.н., В.В. Аксенов, д.т.н., профессор

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: aavwalter@tpu.ru, 55vva42@mail.ru

Введение

Геоходы, как представители нового класса горных машин [1], обладают рядом особых конструктивных признаков [2]–[4]. Эти признаки обуславливают появление новых задач, связанных с созданием технологий изготовления систем и узлов геоходов [5]. Одной из таких задач является обеспе-

чение геометрической точности оболочек корпусных изделий геохода. К данным изделиям относятся головная секция, стабилизирующая секция и внешний корпус модуля сопряжения (рис. 1).

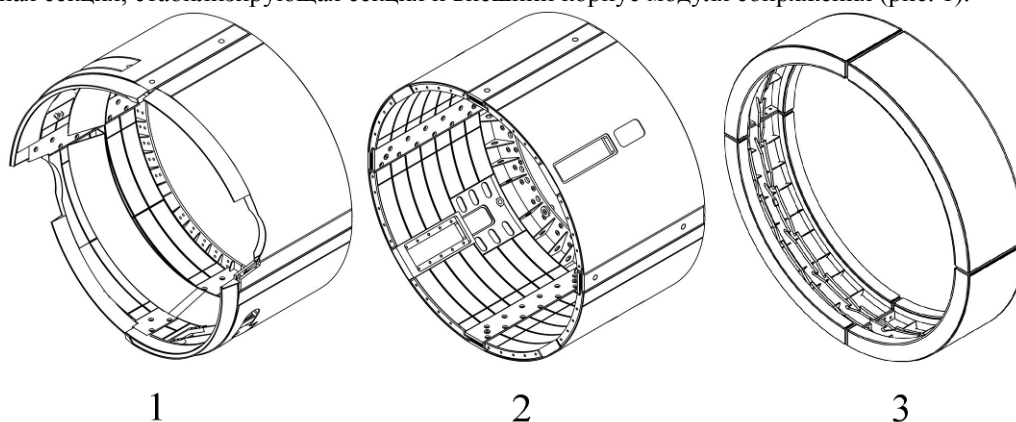


Рис. 1. Корпусные изделия геохода:

1 – головная секция, 2 – стабилизирующая секция, 3 – внешний корпус модуля сопряжения

Корпусы являются разъемными и состоят из четырех кольцевых секторов. Таким образом, поверхность оболочки состоит из четырех фрагментов цилиндрических поверхностей секторов. Поскольку механическая обработка оболочек в сборе нецелесообразна, отклонение реальной поверхности оболочки определяется формой и взаимным расположением секторов [6] (см. рис. 2).

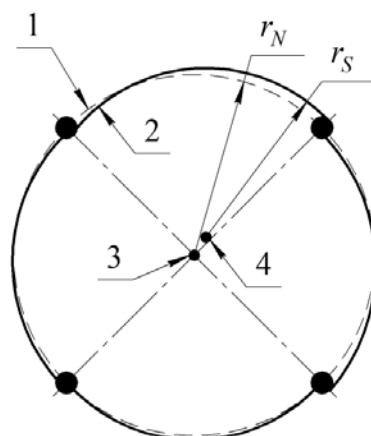


Рис. 2. Формирование профиля оболочки:

1 – номинальный профиль оболочки, 2 – профиль сектора, 3 – центр номинальной окружности, 4 – центр дуги сектора

Форма поверхности секторов закладывается на предшествующих этапах изготовления машины и, если допустить упрощение, что сектор является строго цилиндрическим, форма его поверхности описывается величиной его радиуса. Взаимное положение секторов устанавливается в процессе сборки корпуса за счет ориентации секторов при сборке [7].

Моделирование

В случае если при сборке не используется выверка, для определения отклонения профиля отдельного сектора от номинальной окружности может быть использована схема, изображенная на рис. 3. Деформациями изделия вследствие сил закрепления, аналогичных рассмотренным в работе [8], пренебрегаем.

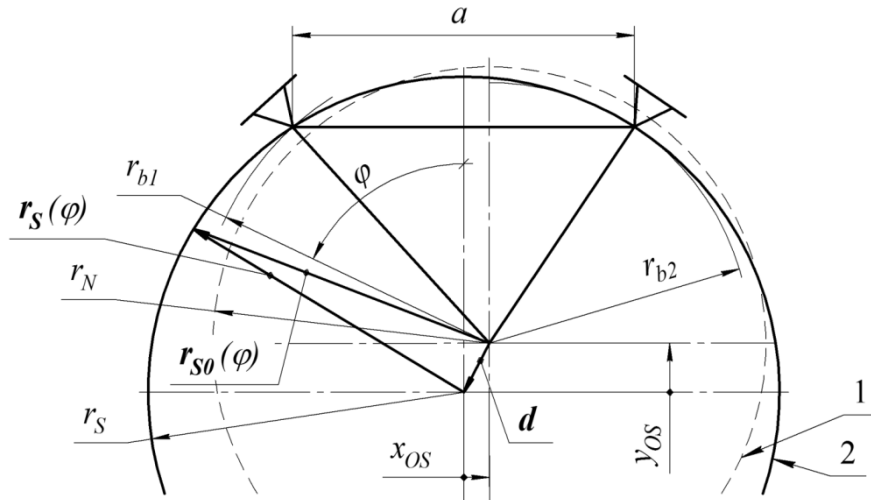


Рис. 3. Расчетная схема к определению отклонения профиля отдельного сектора:
1 – номинальный профиль оболочки, 2 – профиль сектора

Отклонение профиля сектора имеет разные значения для различных точек сектора и зависит от угловой координаты φ :

$$\Delta(\varphi) = |r_{s0}(\varphi)| - r_N; \quad (1)$$

где r_N – радиус номинальной окружности оболочки; $r_{s0}(\varphi)$ – радиус-вектор точки профиля. Радиус-вектор точки профиля является следующей суммой векторов:

$$\begin{aligned} r_{s0}(\varphi) &= r_S(\varphi) + d; \\ r_S(\varphi) &= r_S (\sin \varphi \cdot i + \cos \varphi \cdot j); \\ d &= -x_{0S}i - y_{0S}j; \end{aligned} \quad (2)$$

где x_{0S} и y_{0S} – координаты центра дуги сектора; r_S – радиус сектора. Координаты центра дуги сектора определяются из выражений:

$$\begin{aligned} y_{0S} &= \frac{2}{a} \sqrt{p(p-a)(p-r_{b1})(p-r_{b2})} - \frac{1}{2} \sqrt{4r_S^2 - a^2}; \\ p &= \frac{1}{2}(a + r_{b1} + r_{b2}); \end{aligned} \quad (3)$$

где a – расстояние между опорами; r_{b1} и r_{b2} – расстояния от центра номинальной окружности до опор.

Анализ выражений (1) – (3) показывает, что отклонение профиля сектора определяется значениями φ , r_N , r_S , r_{b1} и r_{b2} . Кроме того, $\Delta(\varphi)$ линейно зависит от r_N , соответственно выражение (1) может быть записано в виде:

$$\Delta(\varphi, r_N, r_S, r_{b1}, r_{b2}) = r_N \Delta_{rel}(\varphi, k_S, k_{b1}, k_{b2}); \quad (4)$$

где Δ_{rel} – относительное значение отклонения профиля сектора; k_N , k_S , k_{b1} и k_{b2} – относительные значения соответствующих расстояний.

В дальнейшем будем исследовать Δ_{rel} , а все вычисления производить в относительных единицах. Поскольку соответствие требованиям геометрической точности определяется по наибольшим отклонениям, то перейдем рассмотрению максимальных значений $|\Delta_{rel}|$ на участке профиля сектора, соответствующем четверти номинальной окружности. При этом существенное влияние на точность оказывает расположение опор, по которым базируется изделие [9].

На рис. 4 приведены примеры влияния расстояния между опорами a на величину максимального отклонения профиля при $r_{b1} = r_{b2} = r_N$.

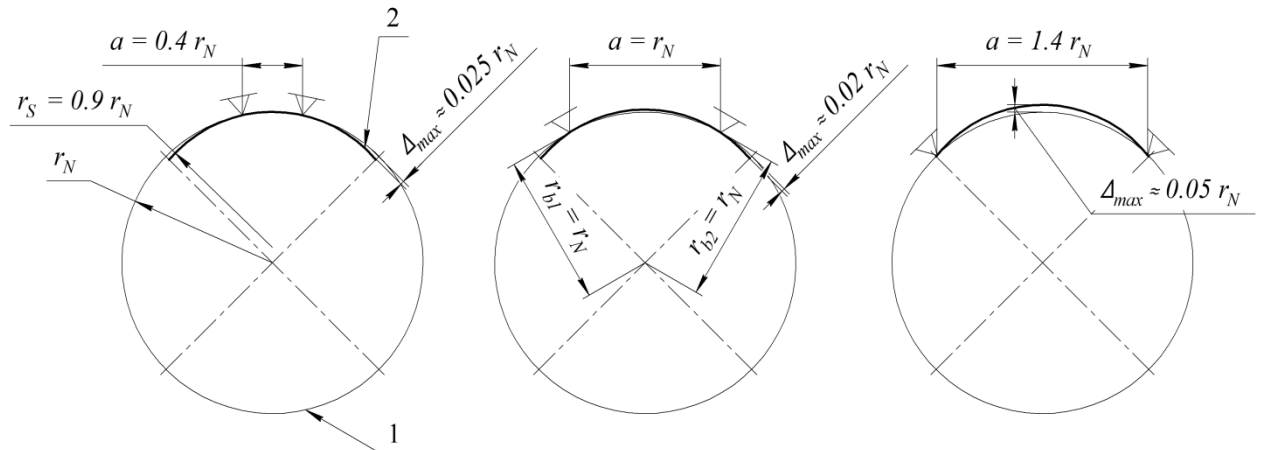


Рис. 4. Примеры влияния расстояния между опорами a на величину максимального отклонения профиля при $r_{b1} = r_{b2} = r_N$: 1 – номинальный профиль оболочки, 2 – профиль сектора

Как следует из примеров, изменение a приводит к значительному изменению максимального отклонения Δ_{max} . Причем максимальные отклонения могут возникать в крайних точках сектора или в его середине. То есть:

$$\Delta_{rel}^{max} = \max \left\{ \Delta_{rel}(0), \Delta_{rel} \left(\frac{\pi}{4} - \arcsin \frac{\sqrt{4k_S^2 - k_a^2} - \sqrt{4 - k_a^2}}{2\sqrt{2}k_S} \right) \right\}. \quad (5)$$

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов по выражению (5) приведены на графиках рис. 5. Как следует из графиков, для каждого определённого значения k_S существует единственное значение k_a , обеспечивающее минимальное значение величины отклонения Δ_{rel}^{max} . Отличие значения k_S от единицы является результатом погрешности изготовления сектора и ограничено величиной допуска T_S (в относительном выражении t_S). Если принять номинальное значение радиуса сектора равным r_N ($k_S = 1$), а поле его допуска симметричным, то точки 1, 2, 3 на рис. 5 будут соответствовать значениям k_a , обеспечивающим минимальную величину отклонения Δ_{rel}^{max} при заданном допуске (1 – $t_S = 0.10$; 2 – $t_S = 0.20$; 3 – $t_S = 0.30$).

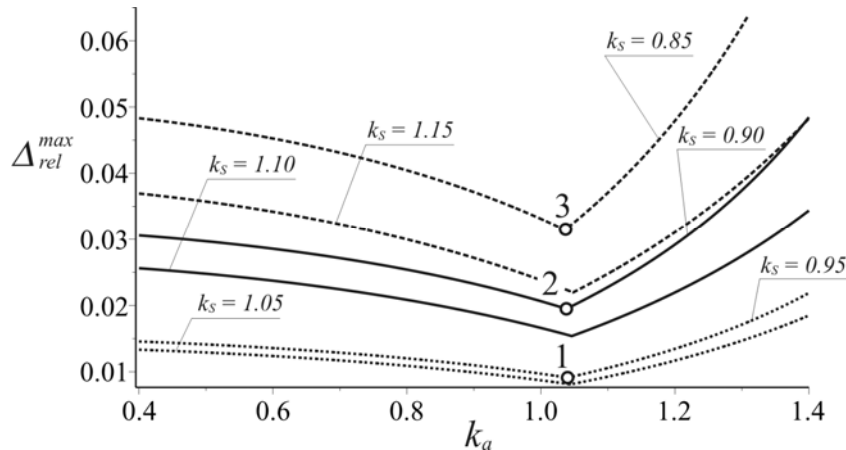


Рис. 5. Зависимость максимального отклонения профиля от расстояния между опорами a при $r_{b1} = r_{b2} = r_N$

Уменьшение и увеличение значения k_S по сравнению $k_S = 1$ на одинаковую величину различным образом влияет на зависимость $\Delta_{rel}^{max}(k_a)$. При $k_S < 1$ достигаются большие значения Δ_{rel}^{max} , чем при $k_S > 1$ в случае одинаковых отклонений от r_S . Это означает, что возникающие погрешности геометрической точности оболочек могут быть снижены при сохранении той же величины допуска T_S следующим методом: ус-

тановить номинальное значение радиуса сектора не равным радиусу номинальной окружности, или, что то же самое, назначить несимметричное поле допуска на радиус сектора.

Метод проиллюстрирован на графиках рис. 6. Рисунок содержит пары кривых, соответствующих наибольшему и наименьшему предельным размерам r_s для определенного значения номинального радиуса сектора, выражаемого величиной k_s^{nom} . Поле допуска принято симметричным ($t_s = 0.1$ и $t_s = 0.2$).

Минимальные значения Δ_{rel}^{max} для заданного допуска и номинального размера определяются как:

$$\Delta_{rel}^{min} = \min \left\{ \Delta \in R \mid \Delta = \max \left\{ \Delta_{rel}^{max} \left(k_s = k_s^{nom} + \frac{t_s}{2}, k_a \right), \Delta_{rel}^{max} \left(k_s = k_s^{nom} - \frac{t_s}{2}, k_a \right) \right\} \right\}. \quad (6)$$

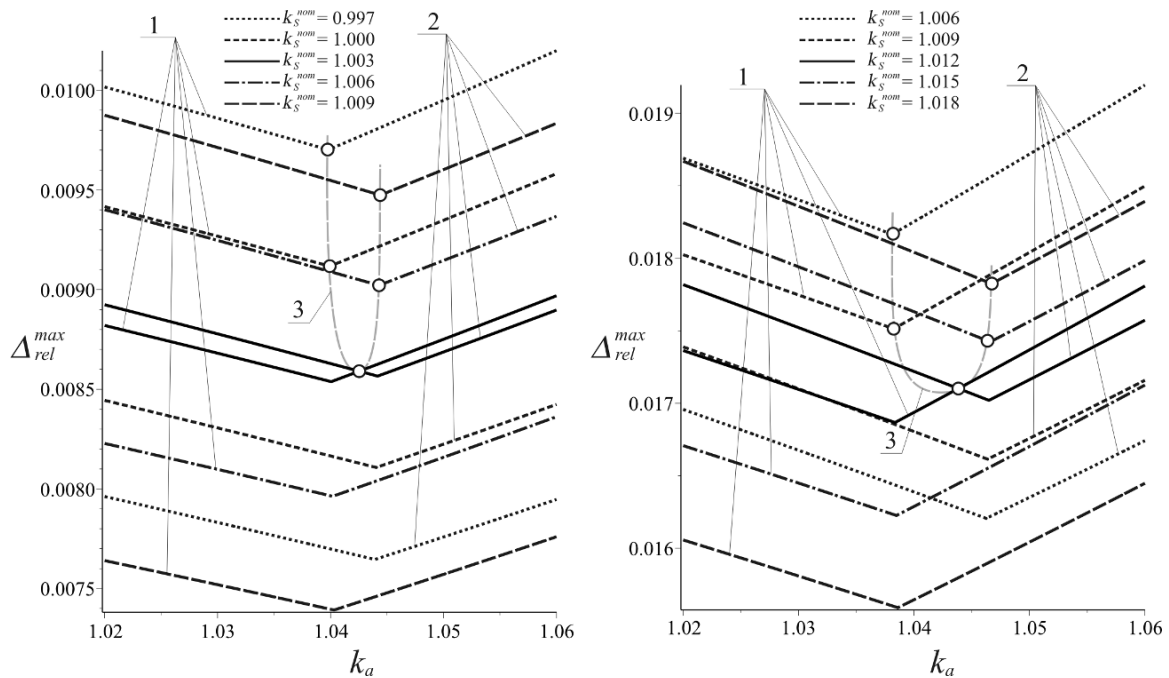


Рис. 6. Зависимость максимального отклонения профиля от расстояния между опорами a ($r_{b1} = r_{b2} = r_N$, $t_s = 0.1$) для значений допусков $t_s = 0.1$ (слева) и $t_s = 0.2$: 1 – кривые, соответствующие наименьшему предельному размеру; 2 – кривые, соответствующие наибольшему предельному размеру; 3 – кривые Δ_{rel}^{min} .

Кривые 3 на рис. 6 показывает, что для заданного допуска t_s существует единственное значение k_s^{nom} и соответствующее значение k_s , при которых достигается минимальное значение отклонения профиля. Причем указанное значение $k_s^{nom} > 1$, т. е. для повышения геометрической точности оболочки необходимо увеличивать величину радиуса сектора в сравнении с радиусом номинальной окружности.

Заключение

- Разработана расчетная схема и предложены аналитические выражения для определения величины отклонения профиля сектора корпусных изделий геохода от номинальной окружности, возникающих в процессе их сборки.
- Предложена методика определения максимальных значений отклонений профиля в зависимости от исходных параметров схемы.
- Проанализировано влияние расстояния между опорами при сборке корпуса геохода и допусков радиуса сектора на максимальные значения отклонений профиля. Установлено, что существует определенное значение расстояния, при котором обеспечивается минимальная величина отклонений профиля.
- Установлено, что положительные и отрицательные отклонения радиуса сектора от радиуса номинальной окружности вызывают различные значения максимальных отклонений профиля.
- Показано, что снижение отклонений профиля может быть обеспечено путем увеличения номинального радиуса сектора в сравнении с радиусом номинальной окружности, либо смещением

вверх поля допуска. Необходимое значение увеличения номинального радиуса сектора зависит от его допуска.

Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор №02.G25.31.0076.

Литература.

1. В. В. Аксенов, *Геовинчестерная технология проведения горных выработок*. Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004.
2. В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Бегляков, М. Ю. Блащук, В. Ю. Тимофеев, and А. В. Сапожкова, "Разработка требований к основным системам геохода," *Горное оборудование и электромеханика*, no. 5, pp. 3–7, 2009.
3. V. Y. Timofeev, V. V. Aksenov, and I. J. Galajamova, "Determination of parameters of roller of wave transmission with intermediate rolling bodies with hollow shaft for geokhod," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 682, pp. 246–250, 2014.
4. V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, and V. Y. Beglyakov, "Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 379, pp. 20–23, 2013.
5. В. В. Аксенов and А. В. Вальтер, "Специфика геохода как предмета производства," *Научное Обозрение*, vol. 8, no. 3, pp. 945–949, 2014.
6. M. Memon, T. Hussain, and Z. A. L. I. Memon, "Minimizing Assembly Errors by Selecting Optimum Assembly Sequence in the Assembly of a Rigid Circular Structure," *Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 31, no. 4, pp. 743–754, 2012.
7. S. Lowth and D. A. Axinte, "An assessment of 'variation conscious' precision fixturing methodologies for the control of circularity within large multi-segment annular assemblies," *Precis. Eng.*, vol. 38, pp. 379–390, 2014.
8. J. A. Camelio, S. J. Hu, and D. Ceglarek, "Impact of Fixture Design on Sheet Metal Assembly Variation," *J. Manuf. Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 182–193, 2004.
9. T. Liu and M. Y. Wang, "An Approximate Quadratic Analysis of Fixture Locating Schemes," in *Automation 2003*, National Chung Cheng University, Chia-Yi, Taiwan, ROC, Sep. 12-14, pp. 527–532.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Г.Т. Даненова, к.т.н., доц., Т.Б. Ахметжанов, к.т.н.

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда
100027, Казахстан, г. Караганда, б. Мира, 56, тел. +7 (7212)56-75-98,

E-mail: akhmetzhanov_t@mail.ru

В данной работе рассматривается моделирование конструкции планетарной мельницы периодического действия при взаимодействии помольных барабанов и внутренней поверхности кожуха. Моделирование выполнено на основе программы ANSYS Workbench[1].

Планетарные мельницы могут применяться во многих областях, таких как: порошковая металлургия, производство и регенерация катализаторов, производство фармацевтических препаратов, измельчение пигментов, измельчение и плакирование абразивных материалов, активация концентратов руд для гидрометаллургии и пирометаллургии, переработке трудноизмельчаемых твердых отходов, производство строительных материалов, сухих строительных смесей, керамическая промышленность, химическая промышленность, горнодобывающая промышленность.

Организация масштабного и эффективного производства тонкодисперсных и наноструктурированных порошков требует создания технологий на основе планетарных мельниц, обладающих техническими характеристиками, которые позволяют отказаться от нескольких стадий дробления-измельчения, применяемых в традиционных технологических схемах.

Процесс измельчения материалов является одним из энергоемких. С этой точки зрения определенный интерес представляют планетарные мельницы, у которых усилие разрушения создается инерционными силами. В таких мельницах можно легко изменить не только величину усилия, но и частоту циклов воздействия.

В построенной модели имеются две контактные области: между кожухом и ободками барабана; между внутренней поверхностью барабана и упрощенной моделью мелющих тел.

Для того чтобы обозначить контактные области необходимо в структурной панели выбрать меню «Connections» и создать новый контакт. Далее ANSYS предложит выбрать контактные поверхности, выбираем внутреннюю поверхность кожуха типа «target» и поверхность ободков барабана типа «contact» (рис.1).

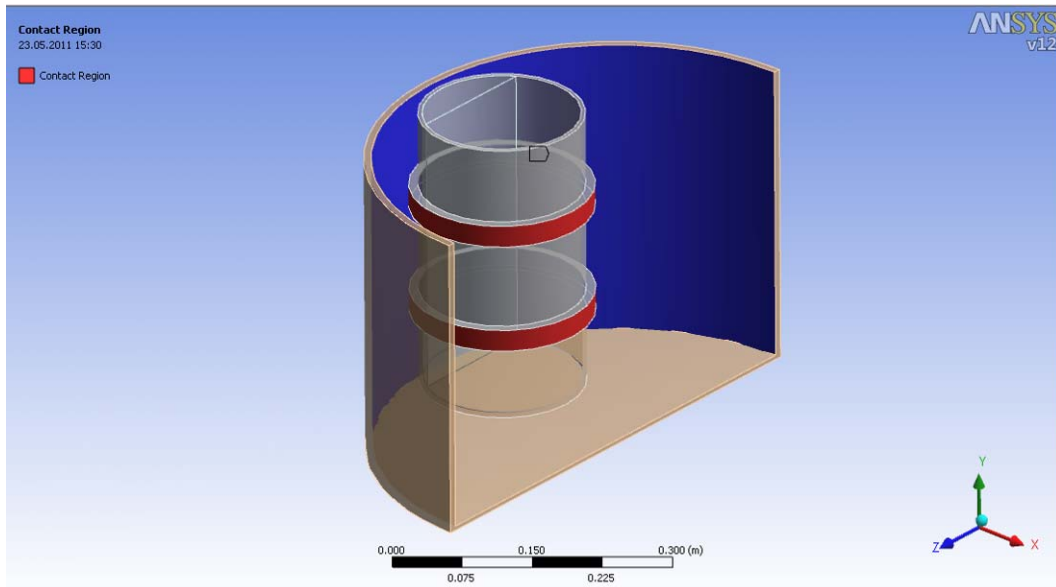


Рис. 1. Контактные поверхности между барабаном и кожухом

В результате построена конструкция планетарной мельницы, а именно кожух и барабан, указаны контактирующие поверхности, заданы свойства материала, а также получена дискретная модель объекта.

Следующий этап – обозначение нагрузок, действующих на модель. Центробежная сила направлена вдоль радиуса кожуха, перпендикулярно плоскости упрощенной модели мелющих тел.

В результате расчета получены распределения минимальных и максимальных напряжений по всем осям, и деформации в любой точке, как в кожухе, так и в помольных барабанах (рис.2,3).

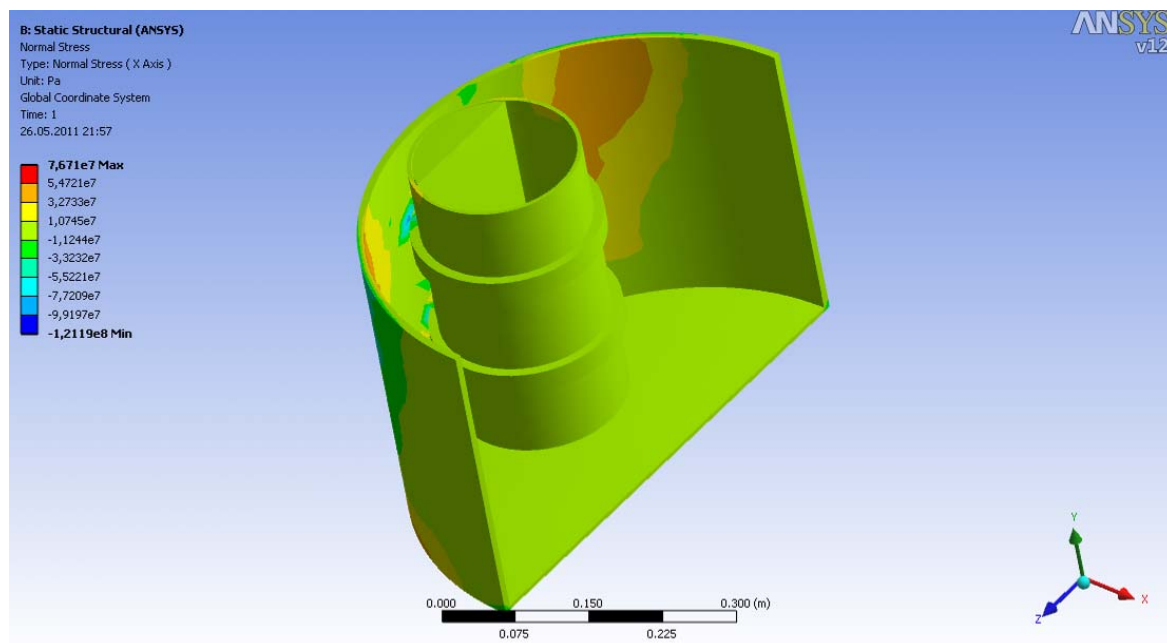


Рис. 2. Распределение напряжений на поверхности кожуха

После окончания расчетов получили максимальные значения напряжений в зоне контакта 79МПа. Максимальное допускаемое напряжение, возникающее в области контакта, для стали равно 430 МПа. Значения, полученные в результате проведения эксперимента, не превышают значений допускаемых контактных напряжений, то есть выполняется условие прочности по контактным напряжениям, поэтому можно утверждать, что при заданных начальных условиях не будет наблюдаться разрушение и деформация кожуха планетарной мельницы и остается большой запас прочности.

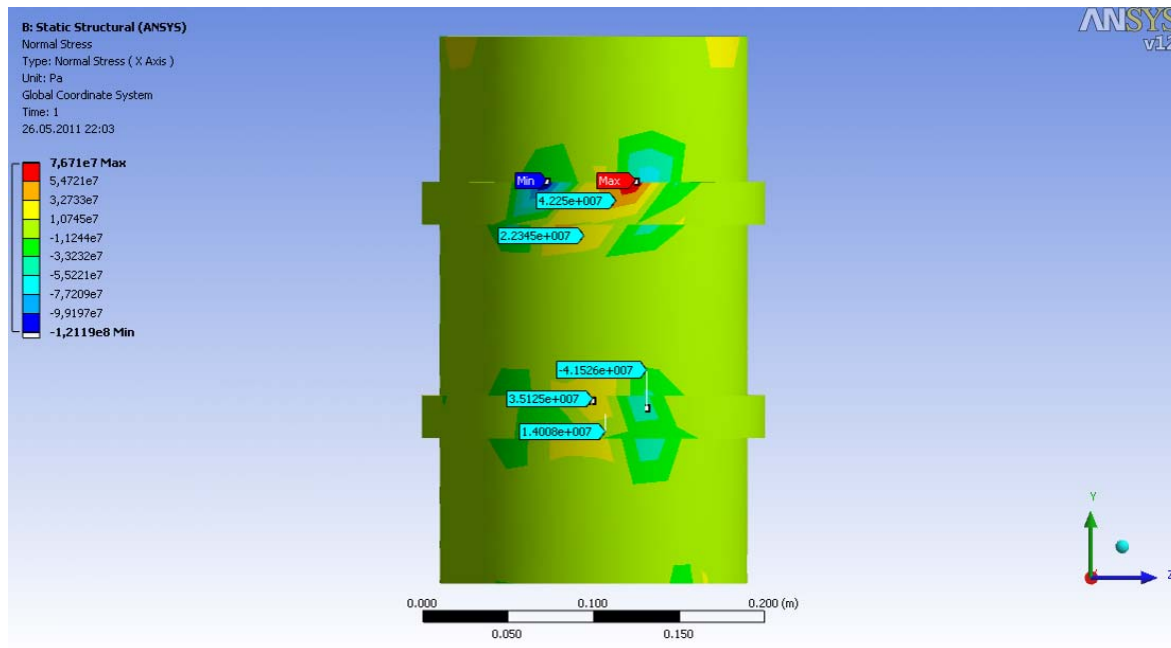


Рис. 3. Распределение напряжений на поверхности барабана

При начальных условиях элементы планетарной мельницы не подвержены разрушению и имеют большой запас прочности. Поэтому для дальнейшего развития и модернизации планетарной мельницы, были проведены еще два эксперимента с большим значением силы, с которой барабан действует на внутреннюю поверхность кожуха. Было решено использовать еще два значения силы: 200000Н и 400000 Н.

При проведении эксперимента с центробежной силой равной 200000 Н, были получены следующее максимальное значение контактных напряжений: 205МПа. Данные значения не превышают максимальное допускаемое напряжение, следовательно, при увеличении силы в 2 раза в зоне контакта кожуха и барабана, не будет наблюдаться разрушение и деформация. Поскольку квадрат угловой скорости пропорционален силе, то можно сделать вывод, что при увеличении квадрата угловой скорости, с которой вращается барабан, в 2 раза, можно уменьшить время измельчения руды при этом детали мельницы не будут подвержены сильному износу.

При силе равной 400000Н, значения максимальных контактных напряжений следующие: 434МПа. Контактное напряжение, возникшее на поверхности барабана, превышает допустимое значение напряжения, следовательно, барабан, при силе 400000Н будет подвержен разрушению.

Частоту вращения барабана можно увеличить, приблизительно в 1,5 раза, при этом детали мельницы не будут подвержены разрушению, и уменьшится время необходимое для измельчения руды.

Также в нашей работе был проведен аналитический расчет максимальных контактных напряжений по данной формуле $\sigma_{max} = 0.418 \sqrt{pE \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}}$, где E –модуль упругости, p-давление, R₁- радиус ободков барабана, R₂ – радиус кожуха. Результаты, полученные с помощью программного комплекса ANSYS Workbench и рассчитанные аналитическим путем, а также их расхождение в процентном соотношении приведены в таблице. Как видно из таблицы, при нагрузке в 400кПа значение максимальных напряжений превышает предельно допустимое 430Мпа, следовательно, модель будет подвержена разрушению.

Таблица 1

Значения максимальных напряжений				
№	F (кН)	Значение σ_{max}^{AN} , полученное в ANSYS(МПа)	Значение $\sigma_{max}^{ан}$, рассчитанное аналитически (МПа)	Погрешность (%)
1	74	79	72	9,7
2	200	205	198	3,5
3	400	434	407	6,6

Результаты расчетов, полученные в данной работе, свидетельствуют о том, что моделирование взаимодействия барабана и кожаной обшивки было выполнено успешно. Что касается полученных конечных результатов, программный пакет ANSYS Workbench полностью подходит для расчета подобных задач и дает достоверную картину распределения напряжений и деформаций в объекте исследования. Данная программа позволяет не только просмотреть результаты моделирования, но и внести поправки в геометрические и рабочие параметры объекта. Методика такого типа анализа позволяет существенно снизить как материальные расходы, так и расходы времени на этапе проектирования.

Стоит заметить, что неоспоримым преимуществом расчета в программе ANSYS Workbench, является то, что мы можем видеть не только все напряжения, возникающие при нормальной работе системы, но и места зарождения критических напряжений, которые могут привести к выходу из строя всей конструкции. Полученные при расчете сведения могут оперативно корректироваться проектировщиком для придания конструкции оптимальной и устойчивой к разрушениям формы.

Используя измельчительное оборудование нового поколения, можно достичь не только уменьшения размера частиц, но и получить механически активированные порошки с новыми физико-химическими свойствами. Использование планетарных мельниц перспективно в порошковой металлургии, для механического легирования и создания дисперсно-упрочненных сплавов.

Литература.

1. Kent Lawrence ANSYS Workbench Tutorial Release 12.1 - SDC Publications, ISBN-10: 1585035807, 252pp.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Л.А. Потапова, доцент, Е.Г. Фисоченко, ст. преп.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8-384-51) 60537
E-mail: pla46@mail.ru*

Подготовка специалистов, обладающих необходимой суммой знаний, умеющих самостоятельно взаимодействовать с инновационно-развивающимся миром профессиональной деятельности и разрешать нестандартные ситуации, возможна на основе непрерывного развития творческих способностей уже с первых дней учебы. Инженерно-геометрические дисциплины составляют фундамент подготовки специалистов машиностроительного направления, способствуя развитию пространственного представления, без которого невозможна конструкторская, технологическая и изобретательская деятельность. Российский геометр И.Ф. Шарыгин писал: «Великий французский архитектор Корбюзье как-то воскликнул: «Все вокруг геометрия!». Это высказывание актуально и по сей день. Современные здания и космические станции, авиалайнеры и подводные лодки, интерьеры квартир и бытовая техника, микросхемы и даже рекламные ролики. Воистину, современная цивилизация — это Цивилизация Геометрии. Геометрические знания и умения, геометрическая культура и развитие являются сегодня профессионально значимыми для многих современных специальностей, для дизайнеров и конструкторов, для рабочих и ученых.» [1]. Графические дисциплины воспитывают у студентов такие важные качества, как аккуратность, терпение, усидчивость, дают первые навыки работы со справочной литературой и нормативно-технической документацией. «Чем выше здание, тем прочнее должен быть фундамент. Человек, получивший хорошее фундаментальное образование, гораздо быстрее приспособится к условиям современной жизни, сумеет найти в ней свое место, чем тот, кто поверхностно познакомился с многочисленными современными предметами, научился нажимать

кнопки сложных приборов, не понимая сути происходящих в них процессов. Владение же геометрическим методом очень полезно современному человеку, так как позволяет ему быстро и наглядно понять суть сложного явления, дать ему ясную интерпретацию.» [1]. До недавнего времени инженерно-геометрическая подготовка обеспечивалась такими учебными дисциплинами как начертательная, аналитическая и инженерная геометрии, инженерная и компьютерная графика. В настоящее время в системе образования происходят масштабные изменения, связанные с введением федеральных государственных образовательных стандартов. Преподаватели начертательной геометрии и инженерной графики надеялись на то, что изменения не снизят статус преподаваемых ими дисциплин, так как Болонское соглашение вряд ли предполагает подготовку дилетантов, не владеющих основами составления конструкторской документации. Это тем более актуально с учетом того, что уровень преподавания школьного курса геометрии значительно снизился, а учебный предмет «Черчение» практически изъят из школьного расписания. Однако, к сожалению этого не произошло. Подтверждением тому, по нашему мнению, является федеральный государственный образовательный стандарт по направлению «Машиностроение», который вряд ли сможет стать главным инструментом для обеспечения качества подготовки специалистов машиностроительного производства. При внимательном ознакомлении с этим документом, содержащим большое количество ошибок, возникает мнение, что он разрабатывался наспех, скорее всего, составлялся из фрагментов, образовательных стандартов по другим (далеко не родственным) направлениям. В соответствии со стандартом случилось то, что в последние годы пытались предотвратить геометры-прикладники [2–4]: начертательная геометрия из учебного процесса изъята. Изъята дисциплина, представляющая собой феномен общечеловеческой культуры, грани которой шлифовались столетиями, дисциплина, которая особо важна для студентов, обучающихся в технических вузах и многократно важна для тех, кто готовится стать специалистом в сфере машиностроительного производства. Трудно представить себе машиностроителя, не обладающего пространственным воображением. Мир машиностроителя – это неисчислимо многообразные сложные геометрические формы и их многомерных взаимосвязей. Человеку, мыслящему категориями двумерного пространства, будет невозможно найти свое место в этом мире. Вероятно, по логике разработчиков стандарта эту миссию выполнит дисциплина «Инженерная графика», на которую отводится мизерное количество учебных часов и которая должна обеспечить рассмотрение вопросов, связанных с компьютерной графикой и инженерной геометрией, так как стандартом эти дисциплины не предусмотрены. Трудно понять, как студента, не имеющего ни малейшего представления о составлении чертежа, не знающего простейших геометрических тел, имеющего плоское мышление, за небольшое количество аудиторных часов в ограниченные сроки можно научить тому, что должен знать грамотный специалист в области машиностроения. Возникает мысль, что авторы документа разрабатывали его, минуя кропотливую и главную часть работы по созданию модели специалиста. И, вряд ли, при разработке образовательной программы на основе данного стандарта можно ликвидировать эти изъяны. Подзаконные акты, какими бы они хорошими не были, не могут улучшить сам закон.

Нет сомнения в том, что со временем, когда на предприятия хлынет поток неграмотных специалистов, придет понимание ошибок, допущенных при разработке нормативных документов. Но такое понимание будет стоить слишком дорого – произойдет утрата драгоценного опыта высшего технического образования. Поэтому уже сейчас необходимы меры по его сохранению, и, в первую очередь, по повышению качества инженерно-геометрической подготовки студентов. На наш взгляд, обеспечить решение этой проблемы возможно при решении изложенных ниже вопросов.

1. Повышение школьной геометрической и графической подготовки абитуриентов. Вряд ли здесь будут уместны призывы к школьной общественности. Несмотря на многолетние диалоги по данной теме проблема не то что не решается, а с каждым годом усугубляется. Вместо замечательных апробированных в течение десятилетий учебников по геометрии, появились «шедевры», которые своим содержанием настолько шокируют школьников, что у них начисто пропадает интерес к предмету. Кроме того, при существующих методах аттестации школьников для успешной сдачи ЕГЭ по математике нет необходимости хорошо знать геометрию. Можно просто проигнорировать немногочисленные геометрические задачи. И учитель, и ученик, нацеленные на хорошую оценку, а не на знания, прекрасно понимают, что гораздо легче «набить руку» на элементарных алгебраических задачах, нежели терпеливо и долго формировать геометрическую культуру мышления и пространственное представление. В итоге студенты первых курсов имеют ужасающе слабую школьную подго-

товку по геометрии. При проведении входного контроля 86% студентов не смогли найти площадь прямоугольника по диагонали и стороне, практически никто не смог вычислить объем куба по площади грани, площадь круга по заданной длине окружности, 90% не смогли, воспользовавшись теоремой Пифагора, по гипотенузе и катету найти неизвестный катет.

Еще хуже обстоит дело с черчением. Если раньше эту дисциплину вели учителя пения, химии, биологии, то теперь, когда практически в каждом педагогическом университете на художественно-графических факультетах в больших количествах готовятся учителя черчения и рисования, данный предмет зачастую вообще не ведется, либо ведется на чрезвычайно низком уровне. И это притом, что значительная часть выпускников школ продолжает обучение в технических вузах, и черчение является не менее важным предметом, чем математика, физика, химия. И если бы в школах содержание обучения черчению соответствовало рекомендованному к использованию учебнику, ситуация с инженерно-графической подготовкой в технических вузах была бы на порядок лучше. Мы видим единственное решение проблемы – ввести в технических вузах творческий экзамен по черчению, то есть последовать примеру архитектурных специальностей строительных вузов. Это приведет к тому, что уже по инициативе и по требованию родителей и учеников школы наведут порядок в преподавании этого предмета. Возможно, на первых порах, приток абитуриентов на технические специальности сократится. Но каждый из тех, кто придет, будет десятерых стоить, и именно эти молодые образованные, думающие специалисты будут возрождать отечественное производство. В последующие же годы ситуация с набором должна качественно измениться в пользу технических специальностей. В связи с тем, что мир вступил в эпоху экономики, основанной на достижениях естествознания и технических наук, повсеместная «гуманитарная благодать» в образовательных учреждениях нашей страны должна закончиться. Надежду на это дают неоднократные заявления руководителей государства.

2. Пропаганда значимости графических дисциплин для формирования высокообразованных специалистов. Далеко не лучшее состояние графической подготовки во многом обусловлено непониманием ее значимости для качественной подготовки специалистов. Нет ничего удивительного в том, что студенты не всегда понимают важности инженерно-графических дисциплин. Но это совершенно недопустимо для тех, кто по долгу своего служебного положения обязан знать, что грамотного специалиста в технике, и тем более в машиностроении, не умеющего грамотно составлять и читать чертежи, в принципе быть не может. Поэтому важной задачей является пропаганда значимости инженерно-геометрической подготовки студентов.

3. Сквозная графическая подготовка студентов. Мы убеждены в том, что графическая подготовка студентов машиностроительных направлений и специальностей должна осуществляться с первого и до последнего курсов. Причем, делать это должны именно преподаватели кафедр начертательной геометрии и инженерной графики синхронно с изучением соответствующих разделов общепрофессиональных и специальных дисциплин. Уменьшение календарных сроков изучения графических дисциплин, как это предусмотрено новыми образовательными программами, на наш взгляд, неприемлемо. «Дело в том, что образовательные процессы подчиняются строгим биологическим законам и ускорить их невозможно, подобно тому, как нельзя ускорить процесс вынашивания плода, который в своем развитии проходит этапы, совершенно не нужные с точки зрения взрослой особи. Не существует такого скоростного лифта, который мог бы вознести ребенка или даже молодого человека сразу на верхние этажи здания цивилизации. Такие попытки в образовании уже делались и неоднократно, но все они кончались плачевно» [1]. Причем для такой сквозной подготовки не нужны большие объемы учебных курсов. Здесь важно календарное время, в течение которого будут формироваться соответствующие компетенции.

4. Самостоятельная работа студентов. В условиях сокращения часов, отводимых на аудиторную работу, актуальность приобретает самостоятельная работа студентов. Ее организация усложняется нежеланием, а зачастую, неспособностью студентов работать самостоятельно. Большинство первокурсников не могут пользоваться учебниками, стандартами, справочными материалами. Поэтому студентов нужно сначала научить учиться самостоятельно, а затем уже требовать от них результатов. При решении данной проблемы необходимо обеспечить дифференцированный подход к студентам, создание комфортных условий, дозирование учебного материала. Важной формой организации самостоятельной работы является научно-исследовательская работа студентов (НИРС), которая позволяет познакомить наиболее способных студентов с основами проективной, алгебраической, дифференциальной, геометрий, ввести в курс научных проблем, научить вести научный поиск решения прикладных задач. Однако НИРС будет эффективной при условии использования совре-

менной компьютерной техники, программной продукции, проведения конференций, семинаров, организации студенческих конструкторских бюро.

5. Компьютеризация учебного процесса. Стремительное внедрение компьютеров в учебный процесс определяет необходимость их использования в инженерно-графической подготовке. На наш взгляд, компьютер, являясь инструментом, должен помогать в усвоении дисциплины (электронные учебники, справочные материалы, обучающие и контролирующие программы.). Кроме того, важным является знакомство с графическими пакетами. Условием успешного использования информационных технологий, по нашему мнению, является, их «шаговая» доступность. Специализированные классы сыграли и играют несомненную положительную роль в ликвидации компьютерной неграмотности студентов. Однако высокая универсальность, то есть использование преподавателями других дисциплин, делают их зачастую недоступными. Мы не в претензии на то, чтобы иметь индивидуальные компьютерные классы. На наш взгляд, в кабинетах инженерной графики достаточно иметь по пять компьютеров, чтобы обеспечить использование информационных технологий в любой момент и в течение любого времени.

6. Совершенствование содержания графических дисциплин. Современное состояние науки и техники настоятельно требуют обновления учебных курсов. Было бы целесообразным изучение разделов, посвященных геометрическим преобразованиям, конструированию обводов, аналитическим алгоритмам решения задач геометрического моделирования технических форм. Кроме того, необходимо иметь в виду, что в эпоху нанотехнологий будущим специалистам в области машиностроения необходимо давать достаточно обширный раздел, посвященный многогранникам, а также основные сведения проективной, алгебраической, многомерной и фрактальной геометрий, что необходимо для описания наноструктур. Но все это возможно лишь при достаточных объемах учебных курсов графических дисциплин, что возможно за счет вариативной части образовательных программ. При настоящих объемах возможна лишь ликвидация школьных пробелов в геометрическом образовании.

Авторы данной работы выражают надежду на то, что лица, причастные к разработке магистральных направлений развития образования, осознают важность инженерно-графической подготовки для современных специалистов. Непонимание этого приведет к обрушению системы высшего технического образования и к наводнению рынка труда непрофессионалами, неспособными не только разрабатывать инновационные проекты, но даже читать и составлять простейшие машиностроительные чертежи.

Литература.

1. Шарыгин И.Ф. Нужна ли школе 21-го века Геометрия?// Матем. просв. – 2004.- №8. С 37–52.
2. Боровиков И.Ф. Стоит ли отменять начертательную геометрию?//Современные проблемы информатизации геометрической и графической подготовки инженеров: Труды Всерос. науч.-метод. конф. - Саратов, 2007. -С.164-168.
3. Боровиков И.Ф., Потапова Л.А. Начертательная геометрия и инженерное образование//Машиностроение и инженерное образование.- 2009.-№1.-С.62-67.
4. Боровиков И.Ф., Потапова Л.А., Логвинова Н.А. Начертательная геометрия как феномен человеческой культуры//Естественные и технические науки. – 2010. - №6. - 395-397.

О ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИНЫ НА ОСНОВЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, М.П. Макеев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук
650065, РФ, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
E-mail: tailakov@uglemetan.ru, utkaev@uglemetan.ru*

Для оценки фильтрационных свойств угольного пласта в практике геофизических исследований, как правило, используют лабораторные и полевые методы исследований. Лабораторные методы основаны на регистрации параметров фильтрации при насыщении, осушении, капиллярной пропитке и инфильтрации в образцах пород и эквивалентных материалах. Полевые методы определения фильтрационных свойств проводятся как в водоносных, так и в не водоносных пластах. Наиболее полная и достоверная информация получается при проведении полевых методов исследования, которые включают в себя геофизические, гидродинамические, отбор кернa, глубинное фотографирование и др. методы исследования скважин.

Среди этих методов распространенными и надежными являются гидродинамические методы исследования скважин, которые основаны на отслеживании снижения или подъема уровня жидкости до статического уровня после ее долива или отбора из скважины, а также по регистрации скорости фильтрации жидкости при кратковременных установившихся отборах или нагнетаниях флюида в поглощающий пласт при его герметизации. На основе этих методов можно получить общую информацию о состоянии призабойной зоны скважины (проницаемость, скин-фактор, емкостной коэффициент и др.), но они не позволяют проследить процесс фильтрации жидкости и твердых частиц в угольный пласт и образования зоны с нарушенной проницаемостью – скин-эффекта. Скин-эффект (рис. 1) возникает в результате проникновения фильтрата бурового раствора или твердых частиц в призабойную зону скважины с радиусом r_s , который вызывает изменение проницаемости k_s этой части угольного пласта по сравнению с проницаемостью в ненарушенной зоне пласта, в результате чего в призабойной зоне создается дополнительный перепад давления Δp_s [1-3].

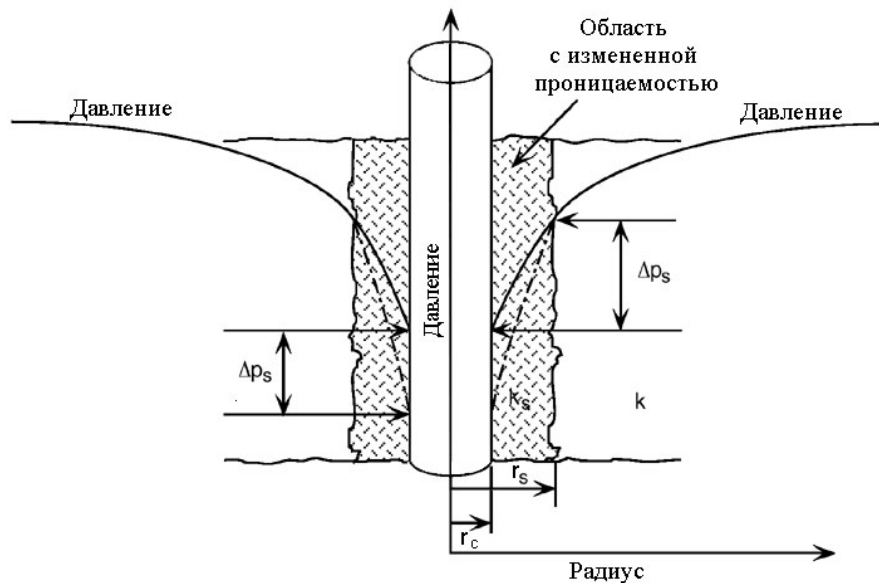


Рис. 1. Изменение характеристик призабойной зоны пласта, вскрытого бурением

Скин-эффект характеризует степень загрязнения этой зоны, но не позволяет оценить глубину проникновения твердых частиц. Радиус скин-эффекта в призабойной зоне скважины можно определить как [2-4]

$$r_s = r_c \cdot e^{\frac{\Delta p_s 2\pi h k_s}{Q\mu}}, \quad (1)$$

где r_c – радиус скважины, м; Q – расход жидкости при нагнетании, м³/сек; k_s – проницаемость пласта, м²; h – мощность пласта, м; μ – вязкость жидкости в пластовых условиях, н·сек/м²; Δp_s – спад давления в течение рабочего периода, н/м².

Для исследования изменений фильтрационных свойств в призабойной зоне скважины разработана и изготовлена лабораторная установка, которая позволяет на основе моделирования проследить за изменениями физических свойств в призабойной зоне пласта с использованием эквивалентных материалов и оценить степень загрязнения этой зоны.

Моделирование выполнялось на образцах из эквивалентного материала (обожженной глины и газонаполненных пластмасс), выбор типа и параметров которого основывался на условиях подобия. Известно, что для соблюдения условия геометрического подобия достаточно изменить масштаб образца с учетом коэффициента подобия. Исходя из условий, принятых для исследуемых угольных пластов Талдинского месторождения принимаем, исследуемый образец должен иметь радиус 0,05–0,07 м, высоту 0,3–0,4 м, а радиус модельной скважины должен составлять $3,5 \cdot 10^{-3}$ – $4,0 \cdot 10^{-3}$ м. С использованием выбранных материалов и геометрических параметров проведены лабораторные эксперименты и натурные измерения для оценки фильтрационных свойств искусственных материалов и угольных пластов. Коэффициент проницаемости угольного массива, полученный в результате измерений в натуральных условиях на Талдинском месторождении Кузбасса, составил 3,6 мДа, в лаборатор-

ных условиях на образцах из обожженной глины – 28,8 мДа и газонаполненных пластмасс – 3,8 мДа. При сравнении результатов натуральных и лабораторных исследований с учетом условий подobia установлено, что эквивалентные материалы из газонаполненных пластмасс удовлетворительно соответствуют натурным условиям.

Принцип действия лабораторной установки заключается в нагнетании жидкости в образец 5 (рис. 2), который фиксируется в механизме для закрепления образцов 2, и ожидании спада давления после прекращения подачи флюида. После чего образец извлекается из установки для дальнейших исследований. Изменение давления во время теста регистрируются при помощи электронного датчика давления 4. Для подготовки лабораторной установки к работе, переходник 3, который представляет собой полый цилиндр и используется в качестве буферной трубки, присоединяется к электронному манометру и заполняется водой [3-6].

Затем переходник при помощи металлической трубки подсоединяется к механизму для закрепления образцов уже с установленным образцом и также заполняется водой. Для герметичного соединения на поверхность крышек и образца наносится герметик. После этого подсоединяется нагнетатель 1, с рабочей жидкостью, который представляет собой механический насос, с обратным клапаном позволяющий держать давление в системе. В качестве рабочей жидкости используется слегка подкрашенная вода – для определения фильтрационных свойств образца и глинистый раствор – для загрязнения образца.

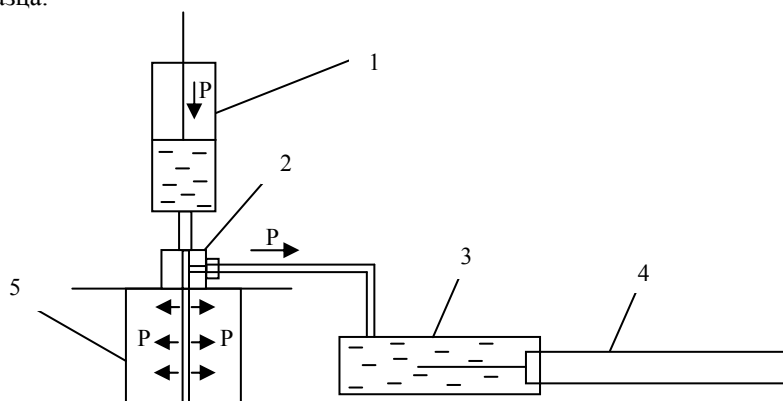


Рис. 2. Схема лабораторной установки для физического моделирования фильтрации флюида в пласт и оценки радиуса влияния скин-эффекта: 1 – нагнетатель; 2 – механизм для закрепления образцов из эквивалентных материалов; 3 – переходник; 4 – датчик давления; 5 – образец

После проведения лабораторных исследований от системы отключается датчик давления для экспорта данных из него. В случае если данные по каким либо причинам повреждены или отсутствуют проводится повторное тестирование образца, если же данные экспортированы успешно образец извлекается из установки для дальнейших исследований. Полученные данные экспортируются на ПК для дальнейшей их обработки и выводятся в виде кривой давления и расхода воды в течение времени.

Измерения геометрических размеров зоны проникновения флюида и дисперсной фазы кольматанта в призабойную зону скважины образца проводились с применением оптических систем.

В результате проведенных исследований установлено, что расчетные и практические значения имеют расхождения. Установлено, что результаты экспериментов на эквивалентных материалах более точно описываются измененной формулой, которая имеет вид

$$r_s = r_c \cdot \exp\left(\frac{\Delta p_s}{i} \cdot \frac{2\pi h k_s}{Q\mu}\right), \quad (2)$$

где i – безразмерный коэффициент; Δp_s – перепад давления в зоне с нарушенной проницаемостью, н/м².

Радиус влияния скин-эффекта на образце из эквивалентного материала, рассчитанный по предложенной формуле, составляет $r_s = 8$ мм, который близок результатам прямых измерений и составляет $8,66 \pm 0,35$ мм.

Уточненная формула применялась для оценки проницаемости и изменения свойств прискважинной зоны в условиях Талдинского месторождения Кузбасса с использованием комплекта геофизического оборудования, включающего электронный манометр Kuster, устройство герметизации скважин Baker Oil Tools и программное обеспечение Fekete для обработки результатов измерений. Для проведения теста устройство герметизации скважины было установлено на глубине 655 м. После этого, приблизительно на той же глубине, был установлен электронный автономный манометр, регистрирующий изменения давления и температуры во время теста. Затем был подключен буровой насос для нагнетания флюида в пласт с минимальным расходом (рис. 3, I). Далее скважина была изолирована для регистрации падения давления после прекращения подачи жидкости (рис. 3, II).

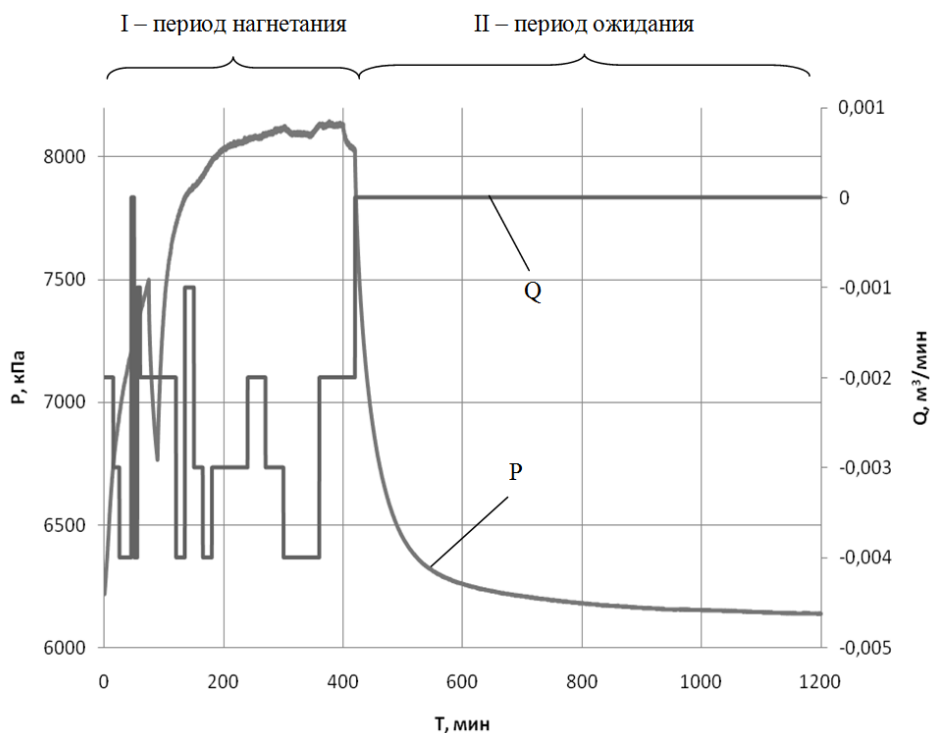


Рис. 3. Изменения давления (P) и расхода флюида (Q) при проведении инжекционного теста в скважине №16244 Талдинского угольного месторождения Ерунаковского района

После анализа и компьютерной обработки полученных данных в скважине были определены давление на границе влияния скин-эффекта $p_s = 7992,75$ кПа, коэффициент $i = 0,05$ и выполнен расчет радиуса влияния скин-эффекта по формуле (2), который составил $r_s = 0,38$ м.

Литература.

1. Мишевич В.И. Гидродинамические исследования поглощающих пластов и методы их изоляции. – М.: «Недра», 1974.-208 с.
2. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979. 271 с.
3. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Макаренко П.П., Яремчук Р.С. Освоение скважин: Справочное пособие. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 472 с.
4. Coalbed Methane Reservoir Engineering: Published by Gas Research Institute Chicago, Illinois, U.S.A., 1996. 520 pp.
5. О влиянии нарушения призабойной зоны скважины на фильтрационные характеристики угольного пласта. / Уткаев Е.А. // Метан: Сборник научных трудов по материалам симпозиума «Неделя горняка-2009». Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня – 2009. № ОВ11. – 432 с. М.: издательство «Горная книга». С. 301-305.
6. Физическое моделирование процессов фильтрации флюида в угольный пласт при оценке радиуса влияния скин-эффекта / Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И., Уткаев Е.А. // Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня. - 2013. № ОВ6. – 532 с. М.: «ГОРНАЯ КНИГА». С. 165– 169.

**УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА**

*В.В. Аксенов***, д.т.н., проф., А.А. Хорешок****, д.т.н., проф., А.Н. Ермаков***, К.А. Ананьев****

**Институт угля СО РАН, г. Кемерово*

***Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, г. Юрга*

****Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово*

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-39-69-40

E-mail: ananiev_k@rambler.ru

Для аналитического исследования движения рабочего инструмента, установленного на барабанном исполнительном органе геолохода [1, 2] необходимо знать общие уравнения движения точки (резца) на барабане в обобщенных координатах.

При работе инструмент, установленный на барабане, который в свою очередь закреплен на головной секции геолохода, совершает сложное движение (рис.1):

- вращательное движение с угловой скоростью ω_2 относительно оси барабана, на котором он установлен;
- переносное вращательное движение с угловой скоростью ω_1 вместе с барабаном относительно оси геолохода;
- поступательное движение на забой с геолоходом со скоростью V_0 .

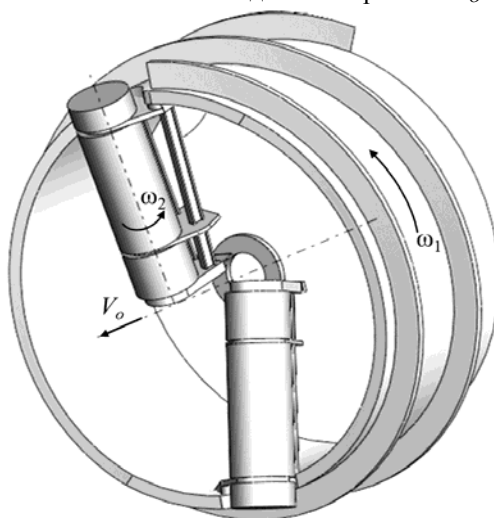


Рис. 1. Схема геолохода с барабанным исполнительным органом

Важным отличием в работе барабанного исполнительного органа геолохода от традиционных планетарных является наличие жесткой связи между вращательным движением с угловой скоростью ω_1 и поступательным движением на забой со скоростью V_0 .

$$V_0 = \frac{\omega_1 h_b}{2\pi},$$

где h_b – шаг винтовой лопасти внешнего движителя.

В общем виде уравнение движения произвольной точки M на режущей кромке резца можно представить как функцию от ряда параметров [3]:

$$A_M = f(a_1, a_2, \dots, a_k; b_1, b_2, \dots, b_l; c_1, c_2, \dots, c_m; \omega_1, \omega_2; V_0; l_c; \xi; t),$$

где a_1, a_2, \dots, a_k – конструктивные параметры рабочей части резца; b_1, b_2, \dots, b_l – установочные параметры резца; c_1, c_2, \dots, c_m – конструктивные параметры барабана и установочные параметры барабана на геолоходе; ω_1, ω_2 – угловые скорости геолохода и барабана соответственно; V_0 – скорость подачи геолохода в направлении забоя; l_c – положение точки установки резца на барабане; ξ – параметр, определяющий положение исследуемой точки M на режущей кромке резца; t – время.

Для схемы на рис.2 общее уравнение движения точки M , заданной на режущей кромке породоразрушающего инструмента в матричной форме задается векторным произведением нескольких компонентов [3, 4, 5]:

$$A_M = A_\Gamma \times A_{BA} \times U_6 \times A_{CB} \times A_{DC} \times T_{MD}, \quad (1)$$

где A_r – матрица абсолютного движения геохода относительно неподвижных координат; A_{BA} – матрица преобразования координат системы барабана $X_B Y_B Z_B$ до системы координат геохода $X_A Y_A Z_A$; U_6 – матрица вращения барабана относительно оси Y_B ; A_{CB} – матрица переноса системы резца $X_C Y_C Z_C$ в систему барабана $X_B Y_B Z_B$; A_{DC} – матрица перехода от системы координат твердосплавной вставки $X_D Y_D Z_D$ к системе резца $X_C Y_C Z_C$; T_{MD} – координаты точки M в системе координат $X_D Y_D Z_D$.

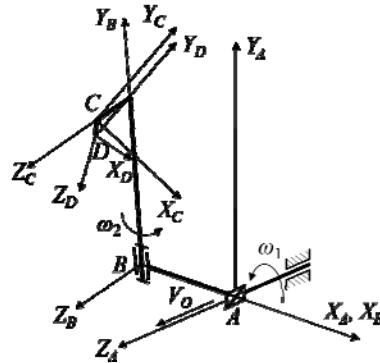


Рис. 2. Схема движения рабочего инструмента

Матрица абсолютного движения геохода относительно неподвижных координат, учитывающая поступательное перемещение вдоль оси Z_A со скоростью V_O и вращение относительно этой же оси с угловой скоростью ω_1 имеет вид:

$$A_r = \begin{bmatrix} \cos(\omega_1 t) & -\sin(\omega_1 t) & 0 & 0 \\ \sin(\omega_1 t) & \cos(\omega_1 t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & V_O t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица преобразования координат системы барабана $X_B Y_B Z_B$ до системы координат геохода $X_A Y_A Z_A$ учитывает наклон барабана на угол β_6 относительно оси X_A и смещение оси вращения барабана относительно центральной оси геохода на величину a (рис. 3).

$$A_{BA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -a \\ 0 & \cos(-\beta_6) & -\sin(-\beta_6) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta_6) & \cos(-\beta_6) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

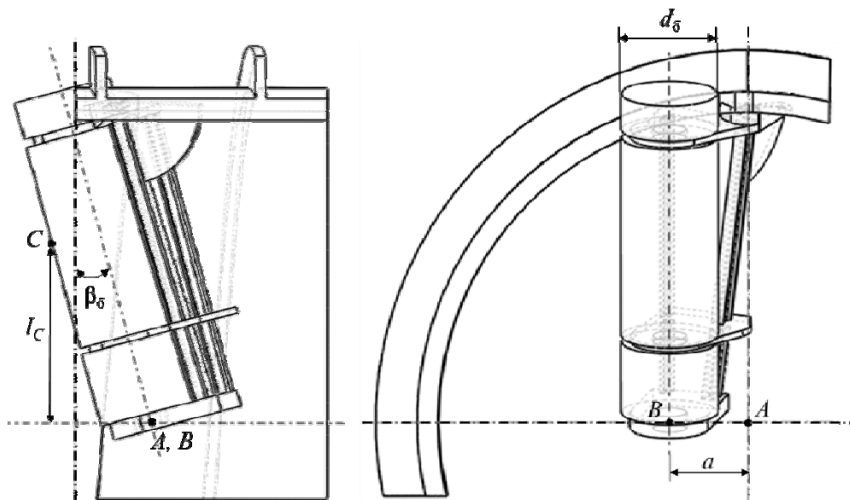


Рис. 3. Схема установки барабана на геоходе

Вращение барабана относительно оси Y_B с угловой скоростью ω_2 (см. рис. 2) описывается матрицей:

$$U_{\delta} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_2 t) & 0 & \sin(\omega_2 t) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\omega_2 t) & 0 & \cos(\omega_2 t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица переноса системы реза $X_C Y_C Z_C$ в систему барабана $X_B Y_B Z_B$ представляется следующим образом:

$$A_{CB} = \begin{bmatrix} U_{CB} & T_{CB} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где U_{CB} – матрица поворота реза на установочные углы θ_{δ} , θ_{π} , θ_{η} в системе барабана $X_B Y_B Z_B$ (рис. 4) размерностью 3×3 ; T_{CB} – вектор переноса системы реза $X_C Y_C Z_C$ в систему барабана $X_B Y_B Z_B$ системы реза $X_C Y_C Z_C$ в систему барабана $X_B Y_B Z_B$.

$$T_{CB} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_C \\ d_{\delta}/2 \end{bmatrix}.$$

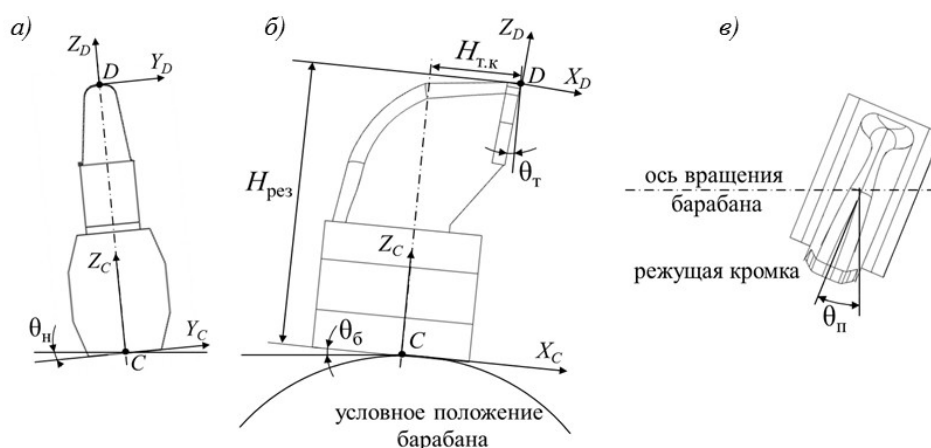


Рис. 4. Установочные углы реза на барабане

Вид матрицы поворота реза на установочные углы θ_{δ} , θ_{π} , θ_{η} в системе барабана $X_B Y_B Z_B$ зависит от последовательности поворотов. В случае поворота сначала на угол θ_{π} , затем на θ_{δ} , затем на θ_{η} матрица U_{CB} представляется в виде векторного произведения:

$$U_{CB} = U_{Z_B} \times U_{Y_B} \times U_{X_B},$$

где

$$U_{Z_B} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{\pi}) & -\sin(\theta_{\pi}) & 0 \\ \sin(\theta_{\pi}) & \cos(\theta_{\pi}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; U_{Y_B} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{\delta}) & 0 & \sin(\theta_{\delta}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_{\delta}) & 0 & \cos(\theta_{\delta}) \end{bmatrix}; U_{X_B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_{\eta}) & -\sin(\theta_{\eta}) \\ 0 & \sin(\theta_{\eta}) & \cos(\theta_{\eta}) \end{bmatrix} -$$

матрицы поворота реза относительно оси Z_B на угол θ_{π} , относительно оси Y_B на угол θ_{δ} , относительно оси X_B на угол θ_{η} .

В этих уравнениях знаки у углов установки рабочего инструмента могут быть как положительными, так и отрицательными.

Матрица перехода от системы координат твердосплавной вставки $X_D Y_D Z_D$ к системе реза $X_C Y_C Z_C$ (рис. 4) для радиального реза, взятого в качестве примера, имеет вид:

$$A_{DC} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_T) & 0 & \sin(\theta_T) & -H_{T.K} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta_T) & 0 & \cos(\theta_T) & -H_{рез} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Координаты точки M в системе координат $X_D Y_D Z_D$ для радиального резца (рис. 5, б) определяются вектором

$$T_{MD} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ \xi \\ -|\xi| \operatorname{ctg}(\beta_p) + r_p \left(\frac{1}{\sin(\beta_p)} - 1 \right) \\ 1 \end{bmatrix} & \text{— при } r_p \cos(\beta_p) < \xi \leq \frac{B}{2} \text{ или } -\frac{B}{2} \leq \xi < -r_p \cos(\beta_p) \\ \begin{bmatrix} 0 \\ \xi \\ -r_p + \sqrt{r_p^2 - \xi^2} \\ 1 \end{bmatrix} & \text{— при } -r_p \cos(\beta_p) < \xi < r_p \cos(\beta_p) \end{cases}$$

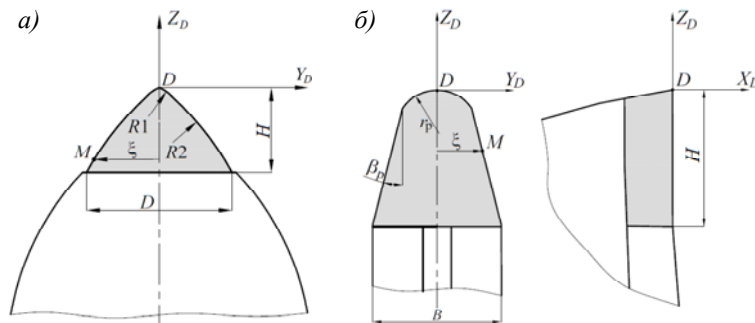


Рис. 5. Конструктивные параметры режущей части резцов
а) – тангенциальный резец; б) – радиальный резец.

По уравнению (1) получена траектория движения вершины резца за время полного оборота геохода (рис. 6) при следующих параметрах: диаметр геохода $D_r = 3,2$ м; $h_b = 0,8$ м; $\omega_1 = 6$ об/час; $\omega_2 = 0,5$ об/с; $l_c = 1,6$ м; $\xi = 0$; $a = 0,34$ м; $\theta_b = 0$; $\theta_n = 0$; $\theta_p = 0$; $\beta_b = 4,55^\circ$.

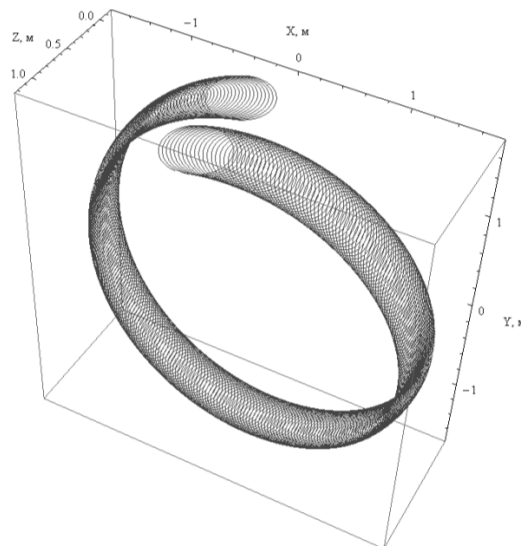


Рис. 6. Траектория движения вершины резца

Дифференцируя уравнение (1) по времени можно определить скорость и ускорение движения любой точки на режущей кромке произвольно установленного на барабане резца.

Полученное уравнение (1) позволяет анализировать движение инструмента и сравнивать параметры движения при различных его геометрических и установочных параметрах.

Литература.

1. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксёнов. – Новосибирск : ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. – 192 с.
2. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геологов // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal). Горное машиностроение / М.: издательство «Горная книга» – 2010. – ОВ №3. С. 49-54.
3. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин, И. Я. Раков, Н. И. Сысоев. – М. : Недра, 1990. – 255 с.
4. Ермак, В.Н. Лекции по теории механизмов и машин : учебное пособие. – Кемерово : КузГТУ, 1999. – 218 с.
5. Козлов, В.В. Динамика управления роботами / В. В. Козлов, В. П. Макарычев, А.В. Тимофеев, Е.И. Юревич. – М. : Наука, 1984. – 336 с.

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ СТАЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНКЕРОВ

*Ю.А. Фадеев, д.ф.-м.н., проф., М.Д. Войтов, к.т.н., проф., Т.Е. Трипус, аспирант
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева»
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28*

Вопросам повышения эксплуатационной надежности технологических систем и контролю в горном деле традиционно уделяется большое внимание. Специфичность условий эксплуатации оборудования, узлов и механизмов при добыче полезных ископаемых подземным способом требует учета влияния всех внешних факторов на работу как всей системы в целом, так и отдельных ее элементов. Анализ состояния технологической системы предполагает проведение постоянной диагностики технологической системы не только в текущем времени, но и прогнозировании состояния надежности в будущем, предсказывая возможные отказы как внезапного, так и постепенного характера.

С целью повышения устойчивости породного массива широко применяются анкерные крепи различных конструкций. Конструкционные особенности крепи, как правило, определяются условиями эксплуатации при конкретных горно-геологических состояниях массива. При решении задач, связанных с эксплуатации необходимо учитывать то обстоятельство, что металлические конструкции подвержены непрерывному активному воздействию ряда разрушительных факторов, таких как влажность, температура, внешние механические напряжения и т.д. Создавая механизмы и системы, исходя из принципов надежности, дешевизны и эксплуатационной долговечности изделий. Последнее качество играет в ряде случаев ключевую роль. Разработка защиты металла от внешних разрушительных факторов, выявление всех причин способствующих продлению физических свойств конструкционных сталей в настоящее время является актуальнейшей задачей.

Цель настоящей работы заключалась в учете старения сталей, при расчете напряжений в трубчатых многослойных цилиндрических анкерах.

Как известно, под старением стали понимается изменение её свойств, протекающее во времени без заметного изменения микроструктуры металла [1]. Различают термическое и деформационное старения. Процессы, связанные с изменением структуры металла, носят как общий, так и частный характер в области материаловедения. Ранее было установлено, что в многослойных системах, состоящих из различных материалов, их механические свойства зависят от различных факторов таких как, диффузия примесных атомов, рождение и аннигиляция дислокаций, их концентрация и скорость, а также другие причины, приводящих к дефектам кристаллической решетки и изменения механических свойств материала [2]. Изучение миграции различных дефектов показывает, что при обычных внешних условиях скорость их дрейфа к поверхности составляет несколько ангстрем в секунду [3]. В случае применения многослойных оболочек происходит накопление дефектов на приграничных областях к поверхностям. Такие процессы оказывают непосредственное влияние на прочностные свойства всей анкерной конструкции. С одной стороны скопление и увеличение концентрации дислокаций на границе оболочек анкера приводит к упрочнению системы в целом, а с другой – диффузия примесных атомов (в данном случае диффузия углерода из стали) приводит к снижению микроупругости, причем, чем выше перенасыщение стали углеродом, тем интенсивнее идет процесс старения [4]. Это обстоятельство необходимо учитывать при создании конструкций,

которые находятся под постоянным механическим напряжением. Кроме того, в работе [5] было установлено, что в системах, состоящих из нескольких оболочек, деформации влияют на модули упругости материала. В работе [5] рассматривался пример применения принципа создания многослойного анкера из разных сортов сталей. Многослойная оболочка создается методом термической посадки, приводящая к возникновению между слоями напряжения. Привлекая теорию упругих систем [6,7], было получено выражение для радиального давления между поверхностями цилиндрических оболочек. Следуя работам [6,7], приведем выражение установившегося давления в двухслойных трубчатых цилиндрических анкерных конструкциях

$$p = \frac{E\delta(b^2 - a^2)(c^2 - b^2)}{2b^2(c^2 - a^2)}, \quad (1)$$

где a - внутренний радиус первой оболочки, b - внутренний радиус внешней оболочки, c - внешний радиус внешней оболочки. При создании и расчетов анкерных конструкций приводимых в литературе предполагается, что модуль упругости E со временем остается постоянной [8]. В реальности это условие не выполняется, так как давление p со временем может существенно изменяться из-за микропроцессов, приводящих к старению металла.

Как известно, одна из причин старения стали заключается в процессе выхода углерода из кристаллической решетки с последующим образованием зерен карбида. Образование зерен карбида и их рост приводит к изменению упругих характеристик металла.

Известно, что в результате непрерывного диффузионного движения атомов углерода стальной оболочки на её поверхность происходит снижение величины предела макроупругости. Установлено, что при непрерывном механическом напряжении время старения у ненагруженного материала уменьшается в несколько раз. Принимая во внимание, что влияние напряжения на старение металла достаточно сложный вопрос, все последующие оценки можно рассматривать лишь качественно.

Согласно [6,7] радиальное напряжение в цилиндрических двухслойных оболочках задается выражением

$$\sigma_r = \frac{E}{1 + \sigma^2} \left(\frac{\partial U}{\partial \rho} + \sigma \frac{U}{\rho} \right), \quad (2)$$

где ρ - расстояние от внутренней цилиндрической поверхности до оси, $\frac{u}{\rho}$ - относительное удлинение вдоль оси, σ - коэффициент поперечного сжатия. Оценка времени старения металла определяется соотношением

$$\frac{\tau}{\tau_1} = e^{-\frac{\sigma U}{kT}}, \quad (3)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, U - энергия активации, τ_1 - время

выделения частиц на границе зерен, $\tau = \frac{\lambda^2}{(\Delta C)^{\frac{1}{2}} D_0}$, λ - размер области в которой аккумулируется углерод, ΔC - степень пересыщения феррита, D_0 - коэффициент диффузии углерода в металле. После преобразования (3) и подстановки в (2) получаем

$$p_s = \frac{E}{1 + \left(\frac{kT}{U} \ln \frac{\tau_1}{\tau} \right)^2} \left(\frac{\partial U}{\partial \rho} + \frac{kT}{U} \ln \frac{\tau_1}{\tau} \frac{U}{\rho} \right) \quad (4)$$

Исходя из выражения (4), следует, что в результате старения материала анкерные крепления, собранные методом натяга могут существенно терять свои механические свойства уже по течению нескольких лет эксплуатации.

Таким образом, понижение упругих свойств металла в многослойных системах, применяемых в условиях подземной выработки требует применения высокоуглеродистой стали или, в случае использования конструкционной стали, проведения периодического контроля состояния крепи в процессе эксплуатации.

Литература.

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Москва.: Альянс 2009. 528 с.
2. Фадеев Ю.А., Крумликова Н.И. Исследование механических свойств монокристаллических волокон на основе галогенидов тяжелых металлов. Иерархические организованные системы живой и неживой природы. Сб. тез. Международной конф. Томск. 2013. С.87-88.

3. Крумликова Н.И., Невзоров Б.П., Фадеев Ю.А. Исследование механических свойств монокристаллических волокон на основе CsI. Вестник КемГУ. Вып.1., Т.1, 2014. С.117-120.
4. Норин А.В., Чувильдеев В.Н. Старение сталей труб магистральных газопроводов. Вестник Нижегородского университета. №5 (2).2010. С.171-180.
5. Крумликова Н.И., Фадеев Ю.А. Влияние знакопеременного изгиба на механические свойства кристаллических волокон галогенидов тяжелых металлов. Ползуновский вестник. № 3., 2010. С. 161-162.
6. Войтов М.Д., Фадеев Ю.А., Трипус Т.Е. Распределение напряжений в композиционных трубчатых анкерах. Вестник КузГТУ. №2.2014. с.11-14.
7. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов: в 2 т.- Москва: Наука,1965.
8. Войтов М.Д., Копытов А.И., Трипус Т.Е. Анкерные крепы. Конструкции. Механизация. Область применения. Учебное пособие. Кемерово. 2014. 291 с.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА

*И.В. Храпцов, В.В. Писарев, В.В. Пальчиковский, Р.В. Бульбович, В.В. Павлоградский
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614013, г. Пермь ул. Академика Королева 15, тел 8 (342) 2391233
E-mail: rkt@pstu.ru*

Введение

Описание излучения звука турбулентными течениями является одной из сложнейших задач современной физики. На настоящий момент нет полной картины механизмов генерации шума турбулентным вихрем ни для какого физически реализуемого течения.

В данный момент времени активно развивается численное моделирование акустических процессов, для развития предсказательной теории генерации шума турбулентными течениями. Для решения задачи нахождения аэроакустических характеристик вихря используют интегральные методы, например, метод Фокса Вильямса – Хокинга. Данный метод позволяет описывать излучение звука в дальнем поле по колебаниям газодинамических параметров на контрольных поверхностях [1]. При этом задача точного расчета турбулентных нестационарных параметров, даже для такого простого объекта как вихревое кольцо является достаточно сложной и требует значительных вычислительных ресурсов.

Вихревое кольцо является элементарным объектом аэроакустики. Будучи созданным данный вихрь развивается только под действием собственной динамики, не испытывая влияния твердых границ. Это позволяет исследовать с его помощью многие вопросы газовой динамики в чистом виде. Вихревое кольцо обладает богатым набором характерных акустических проявлений: это излучение на дискретных частотах, резонансное поглощение звука и т.д., при этом оно доступно для экспериментального изучения.

Целью данной работы является проведение вычислительных экспериментов по исследованию газодинамических процессов протекающих при формировании и динамике турбулентного вихревого кольца с высокой начальной скоростью методом крупных вихрей.

1. Методы проведения исследования

Численное моделирование интенсивных вихревых течений представляет собой достаточно сложную задачу. Одной из проблем является требование существенных вычислительных ресурсов. В данной работе вычислительные эксперименты проводились на кластере «Центра высокопроизводительных вычислительных систем» ПНИПУ с использованием системы инженерного анализа ANSYS CFX. При проведении вычислительных экспериментов было задействовано 128 расчетных ядер, что позволило сократить время расчета до нескольких дней.

2. Описание геометрии

В данной работе для численного моделирования используется геометрическая модель поршневого генератора вихревых колец используемого для аэроакустических измерений [2, 3]. Схема генератора представлена на рисунке 1. Данный генератор представляет собой полый цилиндр, на который навинчиваются сменные сопла. Внутри цилиндра свободно движется поршень с последующей внезапной остановкой, импульсно выталкивающий порцию газа через сопло. Далее происходит отрыв образовавшейся вихревой структуры и ее перемещение в пространстве вдоль оси, совпадающей с осью поршня. Верификация численных экспериментов с натурными осуществлялась на основе геометрии данной модели.

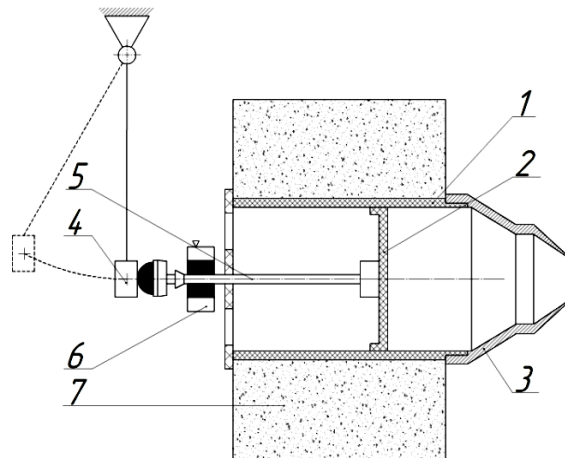


Рис. 1. Схема поршневого генератора вихревых колец с ударным приводом.
1 – корпус; 2 – поршень; 3 – сопло; 4 – ударный механизм; 5 – шток;
6 – замок-ловушка штока; 7 – контейнер с песком.

Геометрическая модель, используемая в расчетах, представляет собой внутреннюю область генератора и область за срезом сопла, в которой происходит формирование и движение вихревого кольца, размер данной области подбирается минимально допустимым для верификации численной модели. Для снижения времени расчета используется модель сектора с центральным углом 5° . На рисунке 2 представлено сечение геометрической модели. В данном случае использование модели сектора возможно в связи с тем, что образующийся вихрь не пересекается с осью движения вихревого кольца.

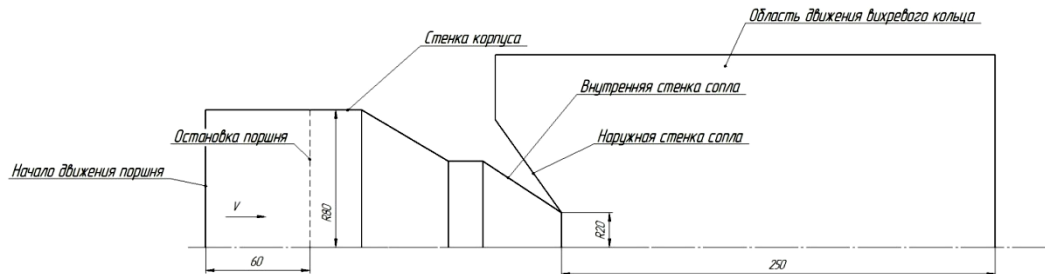


Рис. 2. Геометрия расчетной области (размеры указаны в мм)

3. Физическая модель

С учетом особенностей установки сформулирована следующая физическая модель:

- процессы рассматриваются в трехмерной динамической постановке;
- поток рассматривается однофазным, вязким, сжимаемым;
- работа поршня задается через движение стенки конструкции;
- в качестве рабочего вещества принят воздух;
- расчеты проводятся при нормальных начальных условиях.

При этом принимаются следующие допущения:

- стенки канала непроницаемые, нетеплопроводные и гладкие, принимается, что все выступы элементов шероховатости лежат внутри пограничного слоя;
- расчеты проводятся без учета гравитации;
- поршень мгновенно разгоняется до постоянной скорости и мгновенно останавливается.

4. Граничные условия

Для расчетов в программном комплексе ANSYS CFX используются следующие граничные условия:

- свободный выход:

$$P|_{\text{гр}} = P|_{t=0}; \quad \frac{\partial T}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0;$$

$$\text{если } u|_{\text{гр}} \leq 0, \text{ то } \frac{\partial u}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0; \quad \text{если } V|_{\text{гр}} > 0, \text{ то } u|_{\text{гр}} = u_{\tau}|_{\text{гр}}.$$

- стенка

$$u_n|_{\text{гр}} = 0; \quad \frac{\partial u_{\tau}}{\partial n}|_{\text{гр}} = \frac{u_{\tau}}{\kappa} \ln\left(E \frac{\rho u_{\tau} y}{\mu}\right); \quad \frac{\partial T}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0;$$

- подвижная стенка:

$$u_n|_{\text{гр}} = [1 \quad 1,5 \quad 2 \quad 2,5 \quad 3] \text{ м/с}; \quad \frac{\partial u_{\tau}}{\partial n}|_{\text{гр}} = \frac{u_{\tau}}{\kappa} \ln\left(E \frac{\rho u_{\tau} y}{\mu}\right); \quad \frac{\partial T}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0;$$

- симметрия:

$$u_n|_{\text{гр}} = 0; \quad \frac{\partial u_{\tau}}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial n}|_{\text{гр}} = 0 \quad u|_{\text{гр}} = u_{\tau}|_{\text{гр}}.$$

где u – вектора скорости; P – давление; T – температура; k – турбулентная энергия; ρ – плотность; μ – динамическая вязкость; ε – скорость диссипации турбулентной энергии; нижние индексы n, τ – нормальный и касательный компонент соответственно.

Схема граничных условий представлена на рисунке 3.

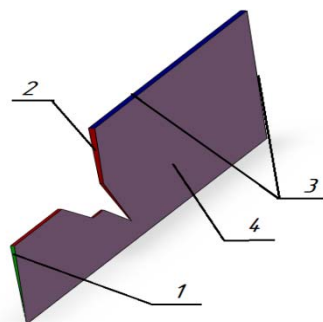


Рис. 3. Схема граничных условий.

1 – подвижная стенка; 2 – стенка; 3 – открытая граница; 4 – симметрия.

5. Конечно-элементная модель

Для получения адекватной картины турбулентных вихревых течений требуется разработать конечно-элементную модель высокого качества. Для модели турбулентности LES масштаб длины, который определяет размер энергосодержащих вихрей, должен быть разрешён определённым количеством точек расчётной сетки (желательно от 40 до 50) [4]. Для достижения высокой точности расчетов используется равномерная, структурированная сетка, состоящая из гексаэдров со средним размером элемента 0,1 мм. Полученная конечно-элементная модель состоит из 15 миллионов элементов.

6. Анализ результатов

По результатам вычислительных экспериментов было проведено качественное сравнение формирования вихревого кольца с экспериментами, проведенными в институте гидродинамики имени Лаврентьева СО РАН [5]. На рисунке 4 представлено сравнение картины течения, слева экспериментальные результаты, справа результаты численного моделирования. Как можно увидеть результаты численного моделирования хорошо соотносятся с экспериментом.

Движение кольца разделяется на 2 этапа. На первом этапе при входе в вихрь струя сжимается, а ее граница, представляющая собой оторвавшийся от кромки сопла пограничный слой, сворачивается внутри вихря в спиральную поверхность, которая, в последствии, трансформируется в ядро вихря. На втором этапе происходит отрыв от кромки сопла образовавшейся вихревой структуры с постепенным увеличением ее диаметра, при этом происходит увеличение поступательной скорости вихревого кольца, а значение радиуса практически не изменяется.

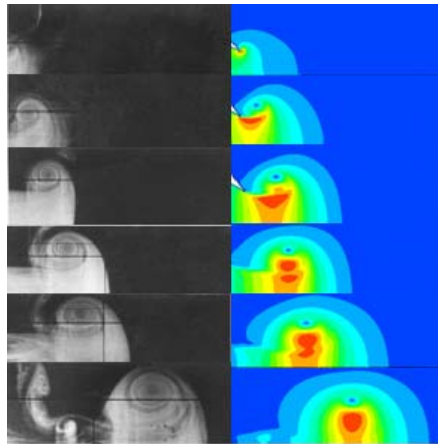


Рис. 4. Сравнение картины течения. Слева эксперимент, справа результаты численного моделирования

Для верификации разработанной численной модели проведено сравнение полученных результатов с автомодельным законом динамики вихревого кольца [6]. Данный закон имеет хорошее совпадение с экспериментом. Система (2) представляет собой закон движения вихревого кольца.

$$L(t) = \frac{R_0}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{4\alpha U_0 t}{R_0} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right], \quad R(t) = R_0 + \alpha L(t). \quad (2)$$

где R_0 , U_0 – начальный радиус и скорость вихревого кольца соответственно; α – коэффициент учитывающий скорость расширения вихревого кольца.

Для определения начальной скорости использовались две контрольные точки на расстоянии 100 и 153 мм от среза сопла. Точки выбирались в соответствии с экспериментами [3]. Скорость оценивалась по формуле (3)

$$U_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad (3)$$

где $\Delta x = 53$ мм – расстояние между контрольными точками; $\Delta t = t_2 - t_1$ – разность времени прихода вихревого кольца на вторую и первую контрольную точки соответственно. Начальный радиус вихревого кольца оценивался по первой контрольной точке.

Для оценки геометрических характеристик вихревого кольца строились зависимости представленные на рисунке 5. На данном графике представлено распределение скорости в плоскости кольца, в связанной с вихрем системе координат. Расстояние вдоль оси r от начала координат до точки пересечения кривой $u(0, r)$ с осью абсцисс определяет радиус вихревого кольца. В окрестности точки $r=R$ распределение скорости имеет практически линейный характер. Линейный участок кривой соответствует ядру вихревого кольца, а расстояние $2a$ вдоль оси r между точками экстремумов на концах линейного участка соответствует диаметру ядра вихря.

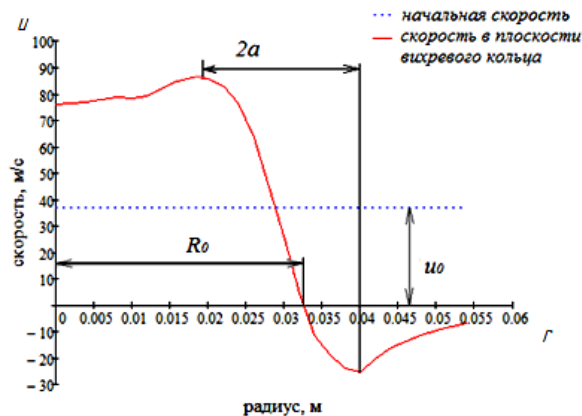


Рис. 5. Распределение скорости в плоскости вихревого кольца

На рисунке 6 представлены графики зависимости расстояния пройденного вихревым кольцом и радиуса от времени, при скорости поршня 3 м/с. Как видно, получено хорошее совпадение с автомодельной теорией динамики вихревого кольца. Погрешность не превышает 3%.

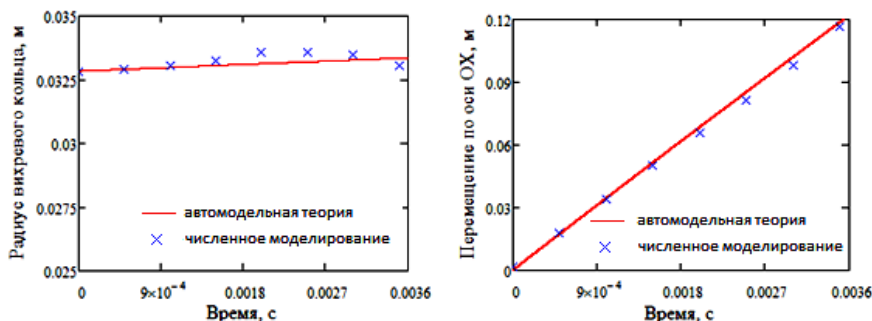


Рис. 6. Сравнение результатов численного моделирования и автомодельной теории

Также проведены исследования влияния скорости поршня на свойства вихревого кольца. Оценивались начальный радиус, начальная скорость и коэффициент скорости расширения вихревого кольца. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние скорости поршня на свойства вихревого кольца

V – скорость поршня, м/с	R_0 – начальный радиус, м	V_0 – начальная скорость, м/с	α – коэффициент скорости расширения
1.5	0.0295	17.6	0.0014
2	0.0312	23	0.0024
3	0.03283	36.4	0.0043

Как можно увидеть с ростом скорости движения поршня происходит увеличение начального радиуса, поступательной скорости и скорости расширения вихревого кольца. Результаты, полученные при скорости движения поршня 3 м/с по начальной скорости и скорости расширения кольца соответствуют результатам, представленным в работе [3].

Заключение

В заключении отметим наиболее важные результаты исследований.

Разработана численная модель, описывающая формирование и развитие вихревого кольца. Проведенная верификация численной модели показала, что результаты расчетов дают хорошее совпадение качественной картины формирования и динамики вихревого кольца с экспериментом. Результаты численного моделирования соотносятся с автомодельным законом динамики вихревого кольца. Характеристики вихревого кольца также соответствуют экспериментальным результатам.

Таким образом, проведенные работы легли в основу создания методики численного эксперимента по исследованию газодинамических характеристик турбулентного вихревого кольца, что позволяет перейти к исследованиям механизмов формирования источников звука турбулентными течениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ по п. 220.

Литература.

1. Секундов А.Н., Чепрасов С.А., Якубовский К.Я. Анализ возможностей методов расчета шума турбулентных струй // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2012. – № 5. – С. 126-136.
2. Зайцев М.Ю., Копьев В.Ф. О механизме излучения звука турбулентным вихревым кольцом // Акустический журнал. – 1993. Т. 39. Вып. 6. С. 1068-1075.
3. Зайцев М.Ю., Копьев В.Ф. О смещении пика в спектре излучения вихревого кольца // Ученые записки ЦАГИ. – 1998. – Т. XXIX, № 3-4. – С. 83-91.
4. Пашков О. Практические рекомендации по использованию метода крупных вихрей (LES) в ANSYS Fluent // ANSYS Advantage. Русская редакция. 2013. №19, available at: http://www.ansysolutions.ru/index_print.php?id=26#mc1 (дата обращения: 01.10.2014).
5. Ахметов Д.Г. Формирование и основные параметры вихревых колец // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42, № 5. – С. 70-83.
6. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1977. – 416 С.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСОВ МИКРОСБОРОК

А.Н. Литвинов *, д.т.н., проф, О.Ш. Хади *, аспирант

* Пенза, Пензенский Государственный Университет

**Багдад, Ирак, Технологический Университет

440026, Пенза, ул. Красная, 40, тел. (841-2) 56-51-22

E-mail: aodayshaker@mail.ru.

В приборостроении широкое применение имеют микросборки различного назначения, выполненные в виде полого прямоугольного корпуса, внутри которого на одной или нескольких гранях размещаются платы и резистивные элементы, обеспечивающие требуемые выходные параметры микросборки. К таким микросборкам можно отнести микросхемы, датчики для измерения давления и др. Для проверки герметичности при изготовлении они подвергаются технологической опрессовке внешним избыточным давлением, под действием которого происходит деформация граней корпуса и плат с резистивными элементами, что вызывает изменение их выходных электропараметров. Величина этого давления устанавливается в КД, либо назначается технологической службой, причем очень часто без предварительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) микросборки и её элементов. Это в ряде случаев приводит к возникновению пластических деформаций граней корпуса, его короблению, а также растрескиванию плат уже на стадии изготовления микросборки. Наличие пластических деформаций приводит к отказам или нарушению работоспособности микросборок в процессе воздействия на них внешних эксплуатационных нагрузок [1].

Таким образом, анализ НДС корпусов и плат является важным этапом при проектировании микросборок, определении возможных видов отказов механического происхождения, а также при назначении режимов технологических отбраковочных испытаний с учетом заданных условий эксплуатации.

В работе [2] показано, что наиболее нагруженным элементом корпуса при действии внешнего давления является крышка, где при опрессовке могут образовываться пластические деформации. Предложен приближенный метод расчета предельно допустимого давления опрессовки p_* , который не учитывает взаимного влияния граней корпуса на их НДС. В соответствии с этим методом p_* определяется соотношением

$$p_* = 2\sigma_T \gamma \left(\frac{h}{2b}\right)^2 \quad (1)$$

где σ_T - предел текучести материала крышки; h - её минимальная толщина; γ - безразмерный коэффициент, величина которого зависит от отношений. Здесь $2a \times 2b$ - размеры крышки в плане по осям x, z (рис.1).

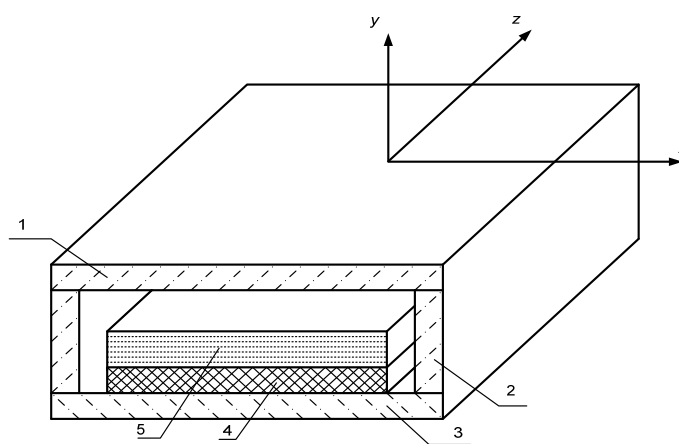


Рис. 1. Корпус микросборки:

1-крышка, 2-стенка, 3-основание, 4-клеевой шов, 5- плата

Для оценки точности приближенного метода определения предельно допустимого внешнего давления проведен численный анализ НДС различных типоразмеров корпусов микросборок с использованием программного комплекса ANSYS, основанного на методе конечных элементов. В качестве основных выходных параметров приняты:

-max W -максимальный прогиб в центре крышки корпуса(мм);
 - -максимальные эквивалентные напряжения в крышке, рассчитанные по критерию Мизеса (МПа).
 Для удобства численного анализа введены параметры:

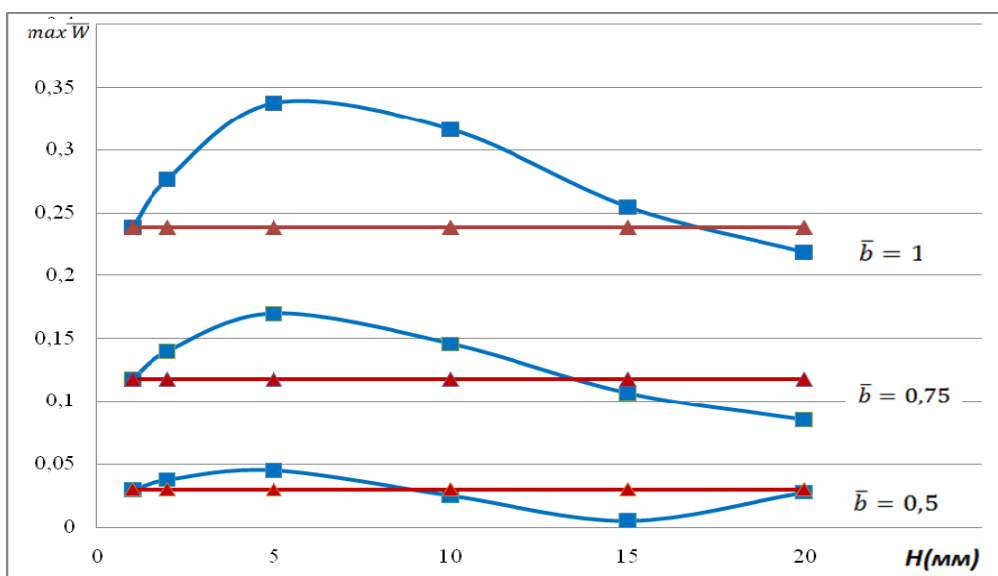
где P внешнее давление опрессовки (МПа).

В этом случае предельное давление опрессовки P_* , соответствующее началу образования пластической деформации в наиболее нагруженных зонах крышки, определяется выражением

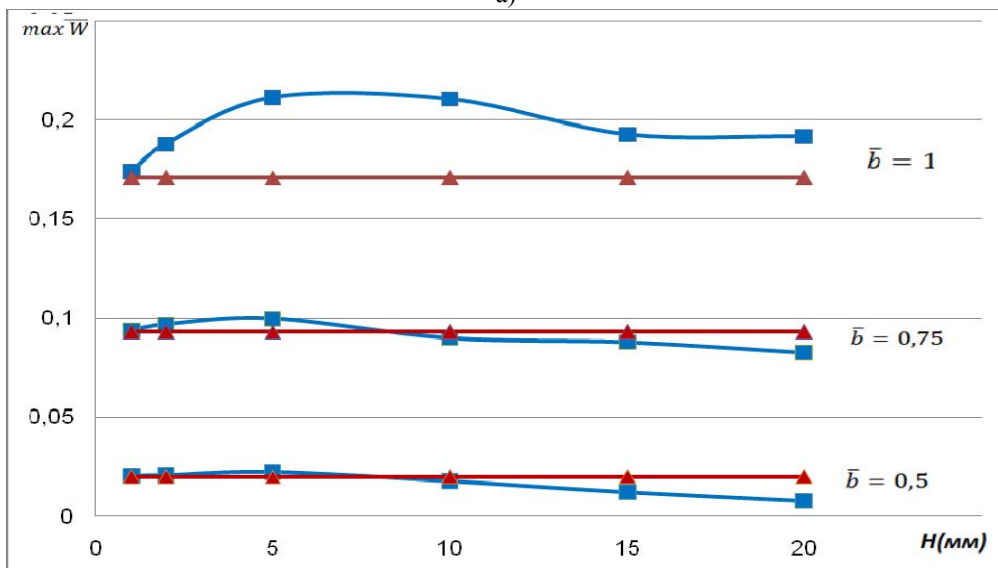
$$P_* = \sigma_T / \bar{\sigma}_{\text{Мизес}}, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_{\text{Мизес}}$ -безразмерная функция параметров, зависящая от геометрических размеров: $a; b; H$ - высота корпуса ; h_k, h_o, h_c -толщины крышки ,основания и стенок соответственно, а также их материалов .

На рис.2-3 представлены некоторые результаты исследований для корпусов ,изготовленных из сплава 29НК при $h_k=h_o=0,4$ мм и $a=10$ мм для различных значений H при $\bar{h} = h_c/h_k; \bar{b} = b/a$.



а)



б)

Рис . 2. Максимальный прогиб крышки микросборки:

▲ -приближенный метод; ■ -точный метод; а) при $\bar{h} = 1$; б) при $\bar{h} = 2$

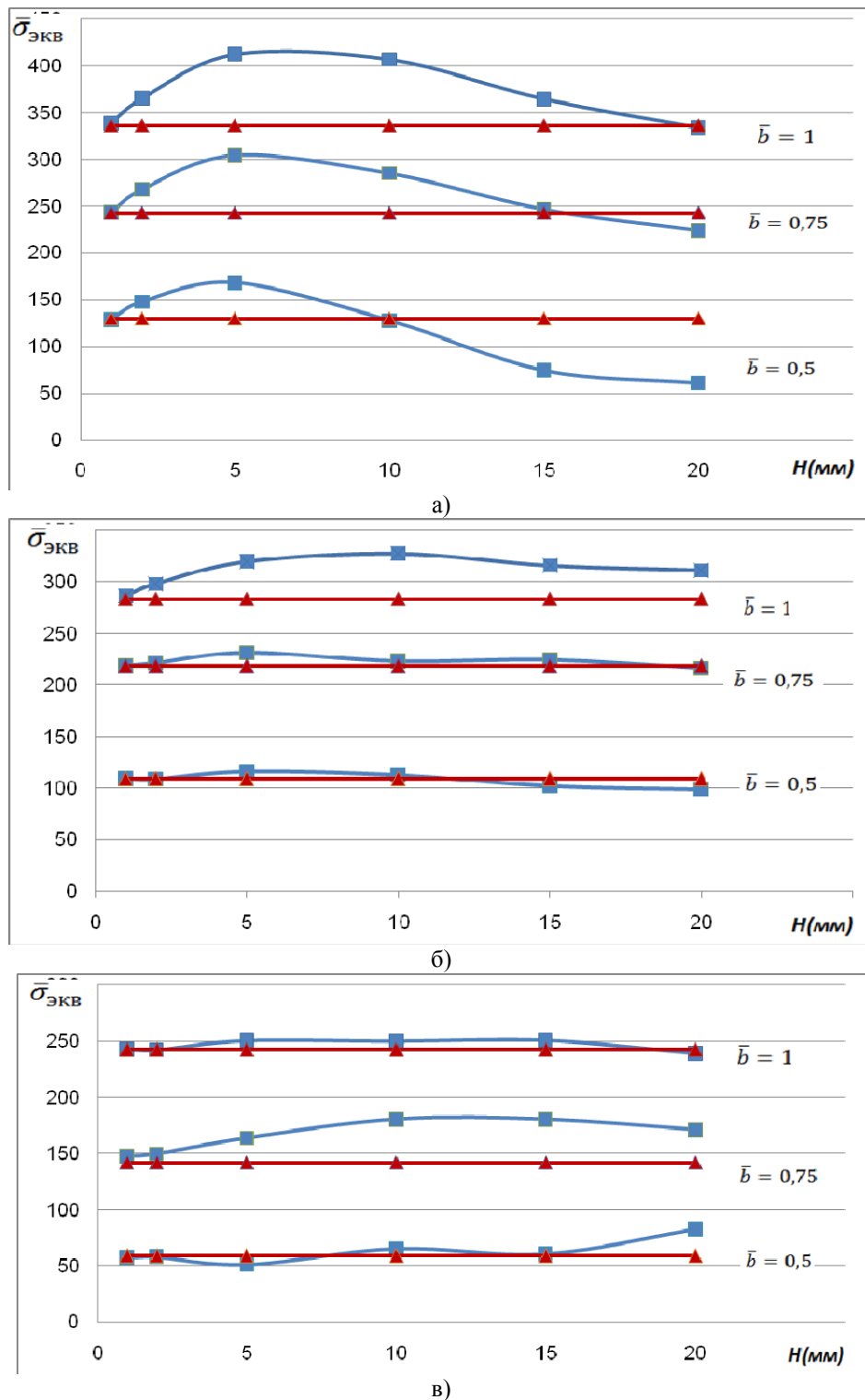


Рис. 3. Максимальные эквивалентные напряжения для крышки микросборки:
▲ — приближенный метод; ■ — точный метод; а) при $\bar{h} = 1$; б) при $\bar{h} = 2$; в) при $\bar{h} = 5$

Анализ полученных результатов показывает, что НДС крышки существенно зависит от жесткостей боковых стенок и применение приближенного метода возможно при достаточно существенных ограничениях. В частности расчет максимальных прогибов крышки ($\max W$) по приближенному методу может давать как верхнюю, так и нижнюю оценку в зависимости от жесткости боковых сте-

нок, соотношения сторон (b/a) и высоты корпуса (рис.2), что связано с взаимным влиянием граней корпуса на их НДС.

Анализ проведенных исследований показывает, что с погрешностью не более 10% величину максимального прогиба крышки можно оценивать по приближенному методу [2] для корпусов, у которых выполняется условия $H/2a < 0,25$. Погрешность расчета уменьшается при возрастании параметра \bar{h} т.к. в этом случае жесткость боковых стенок увеличивается и взаимное влияние граней на НДС крышки уменьшается.

Результаты, представленные на рис.3, показывают, что приближенный метод так же в зависимости от параметров \bar{h} и \bar{b} дает для $\bar{\sigma}_{\text{max}}$ и соответственно для предельно допустимого значения давления опрессовки p_* либо верхнюю, либо нижнюю оценку, что также объясняется взаимным влиянием граней на НДС крышки корпуса микросборки.

Из анализа проведенных численных исследований следует, что с погрешностью не более 10% предельное значение давления опрессовки p_* можно определять приближенным методом по формуле (1) при выполнении условий $H/2a \leq 0,25$ и $\bar{h} < 2$. При этом, так как $\bar{\sigma}_{\text{max}}$ определенное приближенным методом, дает оценку снизу, то при вычислении предельного значения давления опрессовки (2) p_* получим оценку сверху, что является достаточно удобным для практических инженерных расчетов предельно допустимого давления опрессовки корпусов микросборки.

При увеличении параметра $\bar{h} > 2$, характеризующего жесткость боковых стенок корпуса (рис.3), область применения приближенной формулы (1) расширяется и её можно применять для корпусов с $H/2a < 1$.

Таким образом, приближенная формула имеет достаточно широкую область практического применения для корпусов реальных микросборок, у которых, как правило, выполняются условия $H/2a < 1$ и $\bar{h} > 1$. Во всех остальных случаях при расчете p_* по формуле (2) эквивалентные напряжения $\bar{\sigma}_{\text{max}}$ следует вычислять с использованием программного комплекса ANSYS, позволяющего моделировать НДС корпусов и их элементов с учетом взаимного влияния граней и наличия внутри корпуса платы.

Литература.

1. **Литвинов**, А.Н. Обеспечение надежности и качества микросхем в полых корпусах при изменении давления / А.Н. Литвинов, А.Н. Лугин // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем :Сб.докл. междунаrodn.техн.конф.-Пенза,1998.- С.241-242.
2. **Хади**, О.Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации/ О.Ш.Хади, А.Н. Литвинов // Динамика и прочность .- Избранные труды всеросс.конф.по проблемам науки технологий,-М.:РАН,2013-С.3-26.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ СО СМЕННЫМИ СОПЛОВЫМИ НАСАДКАМИ

*И.В. Храмов, П.В. Писарев, В.В. Пальчиковский, Р.В. Бульбович, В.В. Павлоградский
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614013, г. Пермь ул. Академика Королева, 15, тел. 8 (342) 2-391-233
E-mail: rkt@pstu.ru*

Введение

Описание излучения звука турбулентными течениями является одной из сложнейших задач современной физики. На настоящий момент нет полной картины механизмов генерации шума турбулентным вихрем ни для какого физически реализуемого течения. Исследование акустических свойств вихревого кольца, ввиду его относительной (по сравнению со струей или сдвиговым слоем) элементарности, может дать информацию об акустических свойствах более сложных течений.

Основная проблема экспериментального исследования вихревых колец, как объекта аэроакустики, заключается в достоверном определении шума создаваемого самим вихревым кольцом на фоне помех, шума сопутствующих процессов, внешнего шума и т.д. В связи с этим возникают два основных требования к установкам генерации вихревых колец:

- установка должна иметь достаточно низкий уровень собственного структурного шума, для выделения полезного сигнала на фоне помех;

- турбулентные вихревые кольца должны быть достаточно интенсивными для того, чтобы издаваемый ими звук мог быть зарегистрирован.

До некоторой степени эти два требования являются взаимоисключающими, поэтому успех эксперимента во многом зависит от того, насколько данное противоречие может быть устранено.

Целью данной работы является разработка установки формирования интенсивных турбулентных вихревых колец с высокой начальной скоростью.

Обзор способов создания вихревых колец

Для создания интенсивных вихревых колец существует несколько возможностей. Наиболее интенсивные и хорошо различимые на слух кольца можно создать с помощью взрыва на полигоне. Такой способ применяется, например, в метеорологии для определения скорости ветра вблизи земли. Однако для проведения тонких физических экспериментов данный способ не подходит.

Также существует способ, основанный на использовании ударных труб с открытым кольцом [1]. В этом случае контактная поверхность, образующаяся в момент разрыва диафрагмы, играет роль поршня, выталкивая из трубы порцию газа, заключенную между этой поверхностью и движущейся с большой скоростью ударной волной. Основным недостатком данного способа является плохая повторяемость экспериментов, в связи с высокой чувствительностью вихревых колец к параметрам запуска.

Одним из способов получения вихревых колец является использование установок, в которых воздух из области внутри генератора выталкивается струей выходящей из ресивера с большим давлением. Данный способ использовался для изучения формирования вихревых колец в работе [2]. Полученные вихревые кольца обладают устойчивой структурой, тонким ядром и возможно получение вихревых колец с высокой начальной скоростью. Однако данные генераторы не подходят для проведения акустических экспериментов, в связи с повышенным уровнем собственного структурного шума, образующегося вследствие турбулентных течений внутри самого генератора.

В лабораторных условиях для акустических экспериментов наиболее удобно использовать поршневые генераторы, в которых вихревые кольца образуются путем выталкивания порции газа из соплового насадка [3]. Создаваемые таким способом вихревые кольца имеют достаточно тонкое ядро и большое число Рейнольдса, что сближает их с известными теоретическими моделями. Кроме того, поршневые генераторы обеспечивают хорошую повторяемость параметров вихрей от запуска к запуску. Однако ударный привод данной установки является источником собственного структурного шума. Кроме этого в работе [4] показано, что в области ступенчатых переходов внутри сопла возникает вихри, которые также могут являться источником собственного шума установки.

Разработка установки

При проектировании новой конструкции было предложено уменьшить количество металлических деталей и оснастить места соударений резиновыми втулками и демпфирующими прокладками, для снижения уровня собственного структурного шума установки. Для изготовления корпуса, сопла и поршня предлагается использовать технологии 3-D печати из abs пластика, что позволяет существенно упростить изготовление конечной конструкции и быстро вносить изменения в нее. При этом пластик abs является ударопрочным и поддается обработке. Данный пластик обладает следующими свойствами: плотность $\rho=1.02 \text{ кг/м}^3$; модуль упругости $E=1800 \text{ МПа}$; коэффициент Пуассона $\mu=0.41$; предел прочности $\sigma_b=50 \text{ МПа}$.

Для снижения завихрений внутри сопла была разработана новая конструкция с гладким переходом от цилиндрической к конической части сопла.

На рисунке 1 представлена 3D модель разработанной установки. Установка представляет собой полый цилиндр 1 диаметром 160 мм, внутри которого свободно перемещается легкий поршень 2. На цилиндрический корпус навинчиваются сменные сопла 3. Перед запуском вихря шток 4 выдвигается на необходимое расстояние. Вихревое кольцо образуется при ударе тяжелого груза о головку штока 7. Для остановки поршня, генератор имеет специальный замок-ловушку 5 с подпружиненным зубом 6, который фиксирует шток при достижении поршнем крайнего положения. Для снижения вибраций и шума установки генератор помещается в контейнер с песком 8. Вихревое кольцо после запуска движется в акустической заглушенной камере.

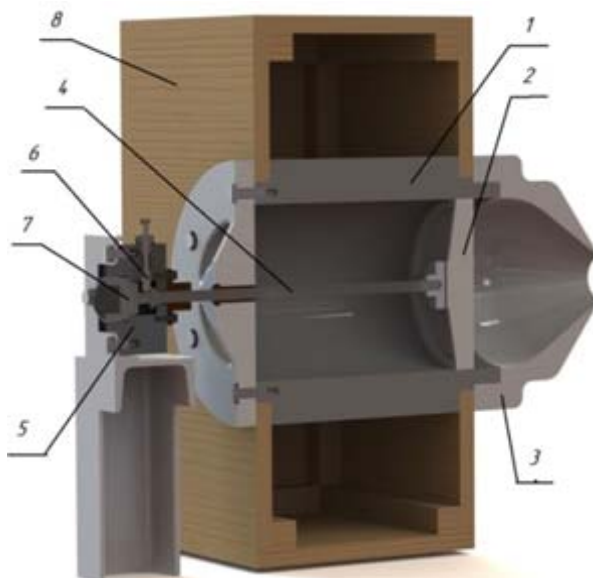


Рис. 1. 3-D модель поршневого генератора вихревых колец:
 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – сопло; 4 – шток; 5 – замок-ловушка штока;
 6 – подпружиненный зуб; 7 – головка штока с резиновым наконечником; 8 – контейнер с песком.

Численный анализ характеристик вихревого кольца и напряженно деформированного состояния сопла конструкции

В данной работе проводится исследование влияния формы сопла на газодинамические характеристики вихревого кольца. Численное решение задачи проводилось на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса. Динамика вихревого кольца характеризуется сложными нестационарными турбулентными течениями. Для более точного описания данных течений используется метод крупных вихрей (LES). В качестве модели турбулентности принята LES модель с подсеточной моделью Смагоринского. Для предотвращения излишней диссипации было использовано малое значение константы Смагоринского, равное 0.01.

Уравнения, лежащие в основе LES, выведены из уравнений Навье-Стокса путем представления всех переменных в виде суммы крупно- и мелкомасштабной составляющих и применения к полученным в результате уравнениям процедуры фильтрации конвективных членов уравнений Навье-Стокса (LES) и их временного осреднения (RANS): в уравнениях LES эти члены имеют индекс “SGS” (sub-grid) [5].

Для расчета газодинамических характеристик вихревого кольца в расчетной области Ω_1 (Рис. 2) предложена следующая математическая модель.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0,$$

где ρ – плотность газа; \vec{u} – вектор скорости газа; t – время; ∇ – оператор Гамильтона;

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial (\rho \vec{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla P + \nabla (\tau_m + \tau_{SGS}),$$

где P – давление; τ_m – молекулярная составляющая тензора вязких напряжений; τ_{SGS} – тензор напряжений, записываемый в виде:

$$\tau_{SGS} = 2\mu_{SGS} \left(S - \frac{1}{3} (\nabla \cdot \vec{u}) I \right) + \frac{2}{3} k_{SGS} I,$$

$$k = (C_k \bar{\Delta})^2 |S|^2, \varepsilon = C_\varepsilon k^{1.5} / \bar{\Delta}$$

где C_k, C_ε – константы; $\bar{\Delta}$ – кубический корень из объема ячейки; S – тензор скоростей деформаций; I – единичный тензор деформаций; k – кинетическая энергия турбулентности; ε – диссипация турбулентной энергии.

Подсеточная вязкость:

$$\mu_{sgs} = (C_s \bar{\Delta})^2 |\bar{S}|,$$

$$|\bar{S}| = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}.$$

Уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} H) = \nabla \cdot \left[\vec{u} \cdot (\tau_m + \tau_{SGS}) + (\vec{q}_m + \vec{q}_{SGS}) \right] P,$$

$$\vec{q}_{SGS} = -\lambda_{SGS} \nabla T,$$

где H – полная энтальпия; h_{stat} – статическая энтальпия; \vec{q}_m – источниковый член для энергии; λ_{SGS} – коэффициент теплопроводности.

$$H = h_{stat} + \frac{u^2}{2},$$

$$h_{stat} = c_p (T - 298,5).$$

При высоких скоростях движения поршня внутри сопла возникает достаточно интенсивный скоростной напор. В связи с этим появляется вероятность изменения геометрических размеров соплового насадка под действием данного напора, что в свою очередь может приводить к изменению свойств вихревого кольца. Таким образом, необходимо исследование влияния скорости поршня на перемещения и напряжения, возникающие внутри сопла.

Математическое описание упругих процессов включает в себя следующие соотношения.

Геометрические соотношения Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}),$$

где ε_{ij} – компоненты тензора деформаций; $u_{i,j}$ – перемещение точки (x_1, x_2, x_3) сплошной среды.

Уравнение равновесия:

$$\sigma_{ij,j} + X_i = 0,$$

где X_i – составляющие объемной силы; σ_{ij} – компоненты тензора напряжений.

Определяющее соотношение деформируемой сплошной среды:

$$\sigma_{ij} = K \theta \delta_{ij} + 2G \left(\varepsilon_{ij} - \frac{\theta}{3} \delta_{ij} \right),$$

где K – модуль объемного сжатия; G – модуль сдвига; δ_{ij} – символ Кронекера.

Объемная деформация имеет вид:

$$\theta = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}.$$

На первом этапе проведены численные эксперименты по оценке влияния формы сопла на свойства вихревого кольца. Расчеты проводились по методике, представленной в [6]. Проведено сравнение начальной скорости, радиуса расширения вихревого кольца при использовании данных моделей с натурными экспериментами и автомодельным законом формирования вихревого кольца. Система (1) представляет собой закон движения вихревого кольца [7]:

$$L(t) = \frac{R_0}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{4\alpha U_0}{R_0} t \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right], \quad R(t) = R_0 + \alpha L(t). \quad (1)$$

где R_0 , U_0 – начальный радиус и скорость вихревого кольца соответственно; α – коэффициент, учитывающий скорость расширения вихревого кольца. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние формы сопла на свойства вихревого кольца			
Тип сопла	R_0 – начальный радиус, м	U_0 – начальная скорость, м/с	α – коэффициент скорости расширения
Базовое	0.03283	36.4	0.0043
Новое	0.034	35.417	0.0035

Как можно увидеть, получаемые вихревые кольца при использовании нового варианта сопла имеют больший начальный радиус, но при этом коэффициент скорости расширения удается снизить. Полученное значение начальной скорости незначительно меньше, при этом вихревое кольцо остается достаточно интенсивным, что важно для проведения акустических измерений.

На втором этапе вычислительных экспериментов исследовалось влияние скорости движения поршня на максимальные перемещения и напряжения, возникающие в сопловом насадке разработанной установки в связанной постановке (FSI). Для решения поставленной задачи была разработана и построена геометрическая модель расчетной области, которая состоит из двух регионов (рис. 2). Газодинамический регион Ω_1 представляет собой проточный тракт установки и окружающую среду. Твердотельный регион Ω_2 представляет собой тонкостенную конструкцию. Между твердотельным и газодинамическим регионом помещен интерфейс взаимодействия двух сред – 3.

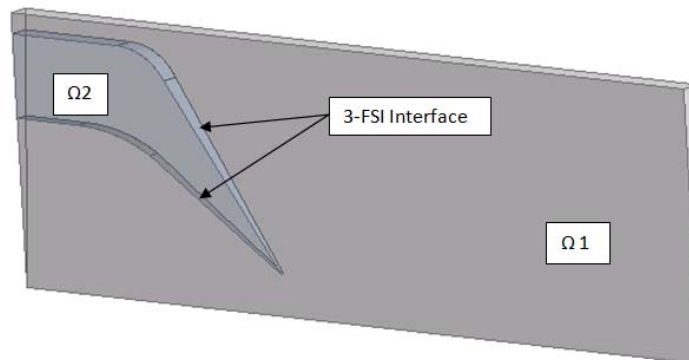


Рис. 2. Общий вид расчетной области

В рамках вычислительных экспериментов скорость движения поршня в разрабатываемой установке варьировалась от 1 до 3 м/с. Анализ полученных результатов показал, что при увеличении скорости движения поршня наблюдается рост главных напряжений и общих перемещений. На рисунке 3 представлены результаты численного моделирования задачи в связанной постановке.

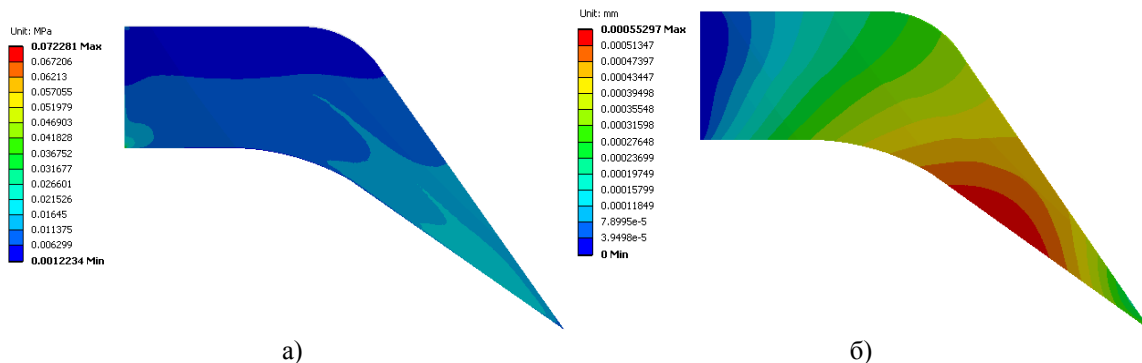


Рис. 3. Результаты численного моделирования прочностной задачи в связанной постановке, при скорости движения поршня 3 м/с: а – поле главных напряжений, б – поле перемещений.

Как можно увидеть на рисунке 3а напряжения, возникающие при воздействии потока на стенку сопла малы, в связи с этим можно сделать вывод о том, что данное сопло будет оставаться работоспособным при большом количестве испытаний. Также из представленного на рисунке 3б поля распределений перемещений видно, что при максимальной скорости максимальное значение перемещений составило 0.55 мкм. Данное значение является допустимым для данной конструкции, а уровень возможных вибраций в конструкции не окажет существенного влияния на газодинамические характеристики вихревого кольца.

Заключение

В рамках данной статьи представлена разработанная авторами установка формирования вихревых колец, отличающаяся новой формой сопла. Проведены численные эксперименты. На первом этапе оценивалось влияние измененной формы сопла на газодинамические характеристики вихревого кольца. Было выявлено, что изменение формы соплового насадка влияет на:

а) начальный радиус (он становится больше, но при этом наблюдается снижение коэффициента скорости расширения кольца);

б) начальную скорость (обнаружено незначительное снижение начальной скорости вихревого кольца).

На втором этапе был проведен ряд вычислительных экспериментов в связанной постановке. Исследовалось влияние скорости поршня на напряженно деформированное состояние сменного соплового насадка. Анализ результатов показал, что величины главных напряжений и перемещений сравнительно малы, резонансных эффектов также не наблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ по п. 220.

Литература.

1. Kambe T. Acoustic emissions by vortex motions // J. Fluid Mech. – 1986, v.173, pp 643-666.
2. Ахметов Д.Г. Формирование и основные параметры вихревых колец // ПИМТФ. 2001. Т.42, № 5. С. 70-83.
3. Зайцев М.Ю., Копьев В.Ф. О смещении пика в спектре излучения вихревого кольца // Ученые записки ЦАГИ. – 1998. – Т. XXIX, № 3-4. – С. 83-91.
4. Храпцов И.В., Писарев П.В., Бульбович Р.В. О возможности численного моделирования формирования вихревых колец // Материалы XXIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках», г. Пермь, 1 – 4 октября 2014 г., С. 284-286.
5. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
6. Храпцов И.В., Писарев П.В., Пальчиковский В.В., Бульбович Р.В. Моделирование формирования и динамики вихревого кольца // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2014. – № 39. – С. 127-144.
7. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1977. – 416 С.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ КРОВЛИ ПРИ ЕЕ ОБРУШЕНИИ

Г.Д. Буялич, **, д.т.н., проф., К.Г. Буялич*, к.т.н., доц., В.Ю. Умрихина*, аспирант*

** Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-39-69-40*

***Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

E-mail: gdb@kuzstu.ru

При отработке угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями нередко возникают ситуации, в процессе которых происходят вторичные осадки основной кровли с динамическими проявлениями горного давления со стороны боковых пород [1,2]. При этом скорость и величина воздействия блоков кровли на металлоконструкцию крепи варьируются в широких пределах и определяются силовыми параметрами крепи, а также мощностью и свойствами пород слоев непосредственной и основной кровель [2 - 5].

В работах [6 - 11] была предпринята попытка математического описания процесса динамического воздействия блока кровли на крепь после хрупкого разрушения пород. При этом реакция со стороны крепи на блок кровли была представлена в виде сосредоточенной силы.

В данной работе дано описание математического моделирования взаимодействия блока кровли с крепью, реакция которой представлена в виде распределённой нагрузки.

Расчётная схема для описания колебательного процесса блока кровли представлена на рис. 1.

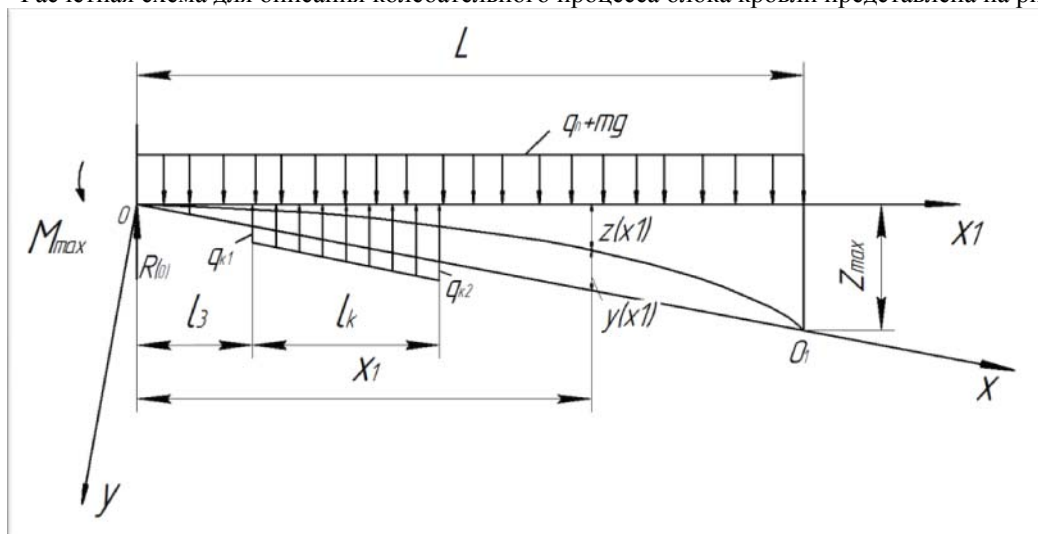


Рис. 1. Расчётная схема нагружения блока (кровли) перед его хрупким разрушением

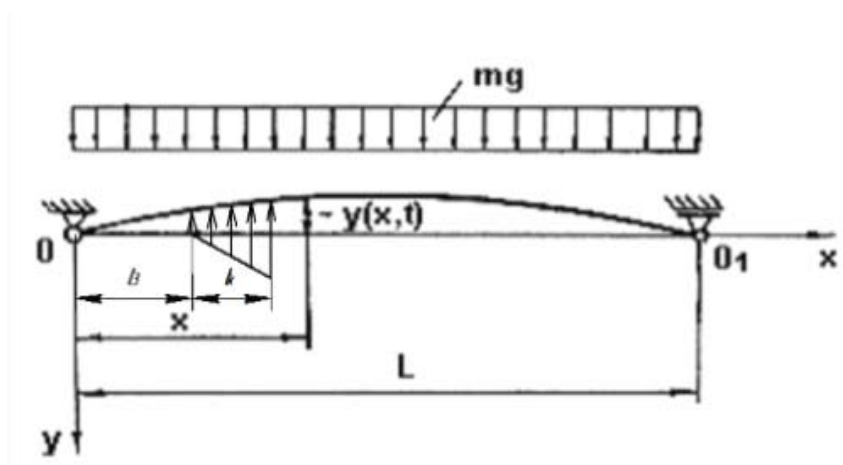


Рис. 2. Расчётная схема блока кровли после хрупкого разрушения

На схемах изображена равномерная пригрузка со стороны вышележащих пород и прогибы y , соответствующие деформированному блоку в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению. Со стороны крепи на блок действует распределённая трапециевидальная нагрузка, соответствующая сопротивлению крепи.

Обозначения на схемах (рис. 1 и 2):

q_{k1} и q_{k2} – соответственно, величина распределённой нагрузки от секции крепи со стороны забойной и завальной концов перекрытия;

l_k – длина перекрытия секции крепи;

l_3 – расстояние от забоя до забойного конца перекрытия;

q_n – величина пригрузки со стороны вышележащих пород;

mg – величина пригрузки от веса блока;

M_{max} – максимальный изгибающий момент в заделке в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;

$R_{(0)}$ – реакция в заделке в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;

L – длина блока кровли;

z_{max} – максимальный прогиб блока кровли в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;

x_l – направление оси для определения прогибов блока кровли в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;

y и x – направление осей для определения параметров колебаний блока кровли в момент времени, после хрупкого разрушения пород кровли.

Колебания блока кровли можно описать неоднородным дифференциальным уравнением в частных производных четвёртого порядка

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{E_0 J}{m} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = g,$$

где $\partial^2 y / \partial t^2$ - вторая производная прогиба блока кровли по времени;

J - момент инерции поперечного сечения блока;

E_0 – модуль упругости первого рода пород кровли;

$\partial^4 y / \partial x^4$ - четвёртая производная прогиба блока кровли по его длине;

g - ускорение свободного падения;

m - распределённая масса блока кровли.

Решение данного дифференциального уравнения, найденное в общем виде по методу Фурье [4-6] для реакции крепи, представленной в виде сосредоточенной силы, показало, что в месте приложения реакции крепи перемещения пород кровли имеют ярко выраженный колебательный характер и определяются параметрами как крепи, так и кровли.

В данной работе приводится решение дифференциального уравнения численным методом при граничных и начальных условиях, соответствующих приведённым расчётным схемам с распределённой нагрузкой, приложенным усилиям и деформациям блока перед его хрупким разрушением.

По результатам расчётов получены амплитуды и формы колебаний блока кровли после его хрупкого разрушения в зависимости от физико-механических свойств пород, параметров кровли и параметров механизированной крепи.

Приведённый в работе метод позволяет по значениям параметров кровли и значениям параметров крепи определить форму колебаний и величину воздействия кровли на крепь очистной выработки.

Литература.

1. Механизм взаимодействия механизированных крепей с кровлями угольных пластов / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 3 : Горное машиностроение. – С. 122–125.
2. Буялич, Г. Д. Направления совершенствования механизированных крепей для отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях // Горная техника : добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых : каталог-справочник. – СПб. : Славутич, 2007. – С. 10–16.
3. Буялич, Г. Д. Исследование работы предохранительного клапана ЭКП в период резких осадков кровли / Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, Б. А. Александров // Механизация горных работ : межвуз. сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1978. – Вып. 2. – С. 49–55.
4. Буялич, Г. Д. Экспериментально-теоретическая оценка и обоснование параметров механизированных крепей для сложных горно-геологических условий пологих угольных пластов : автореф. ... док-ратехн. наук : 05.05.06 / Буялич Геннадий Даниилович. – Кемерово, 2004. – 32 с.
5. Александров, Б. А. Влияние начального распора механизированной крепи на частоту и интенсивность резких осадков кровли / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2002. – № 6. – С. 21–22.
6. Математическая модель процесса динамического обрушения / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, К. Г. Буялич, М. В. Казанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 7 : Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. – С. 233–237.
7. О модели динамического взаимодействия крепи с кровлей / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, К. Г. Буялич, М. В. Казанцев, В. М. Римова // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012 : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 1–2 нояб. 2012 г. В 2-х т. Т. 1 / КузГТУ. – Кемерово, 2012. – С. 149–153.
8. Буялич, Г. Д. Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. / Ассоциация «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1995. – № 9. – С. 35–37.

9. Особенности взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами в сложных горно-геологических условиях пологих и наклонных пластов / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, Ю. М. Леконцев, М. Г. Лупий. – Томск : Изд-во Том.ун-та, 2002. – 144 с.
10. Буялич, Г. Д. О форме динамических колебаний блока кровли при реакции крепи в виде сосредоточенной силы / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск, 2014. – С. 133-134.
11. Буялич Г. Д. Моделирование динамических колебаний блока кровли / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. VII Между-нар. науч.-практ. конф., Белово, 28–29 марта 2014 г. В 4 ч. Ч. 1 /Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово, Велико Тырново : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия, 2014. – С. 115–119.

РАСЧЕТ МАНЖЕТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Г.Д. Буялич,**, д.т.н., проф., К.Г. Буялич*, к.т.н., доц.*

** Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-39-69-40*

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail:gdb@kuzstu.ru*

Герметичность силовых гидроцилиндров, к которым относятся гидродомкраты и гидростойки механизированных крепей, определяется величиной зазора между поршнем и рабочим цилиндром, а также работой манжетного уплотнения в этом зазоре.

В настоящей статье проведена сравнительная оценка работы трёх уплотнений, выполненных по ГОСТ 6678-72, ГОСТ 14896-84 и ГОСТ 6969-54, которые отличаются между собой формой и геометрическими размерами.

Оценка параметров работы уплотнения в уплотняемом зазоре производилась на осесимметричной параметрической конечно-элементной модели уплотнительного узла, исходными параметрами для которой являлись: геометрические размеры манжетного уплотнения и канавки поршня; уплотняемый зазор, свойства материалов, давление рабочей жидкости [1–2].

Разбиением модели манжетного уплотнения на конечные элементы производилось в соответствии с рекомендациями, изложенными в работах [3–6]. Пример разбиения на конечные элементы манжетного уплотнения по ГОСТ 6969-54 приведён на рис. 1, а.

В качестве рабочей жидкости была принята водо-масляная эмульсия, давление герметизации – 50 МПа. Поскольку манжетное уплотнение гидростоек изготавливается из малосжимаемого материала, то для описания его поведения наиболее подходит модель Муни-Ривлина с двумя параметрами [7].

В соответствии с моделью расчёт проводился в два этапа: на первом этапе моделировалось деформированное состояние манжетного уплотнения после сборки гидроцилиндра (рис. 1); на втором этапе – от воздействия рабочей жидкости в виде распределённой нагрузки на внутренние поверхности уплотнения (рис. 2 и 3) [8–10].

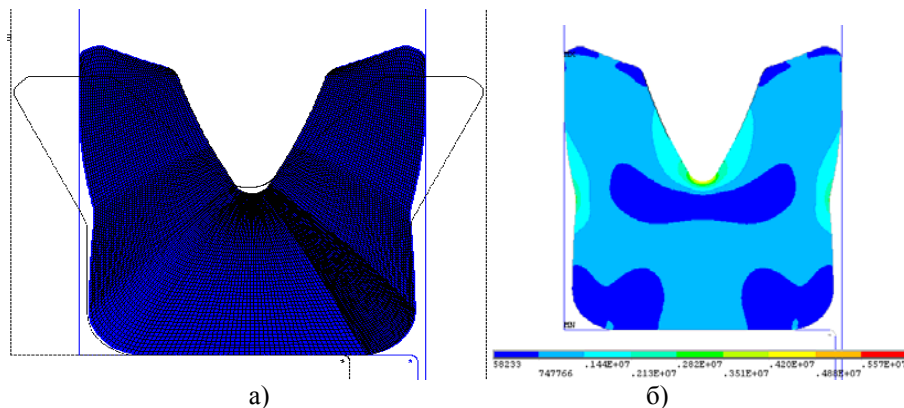


Рис. 1. Деформации (а) и распределение напряжений по Мизесу (б) в манжете по ГОСТ 6969-54 после сборки

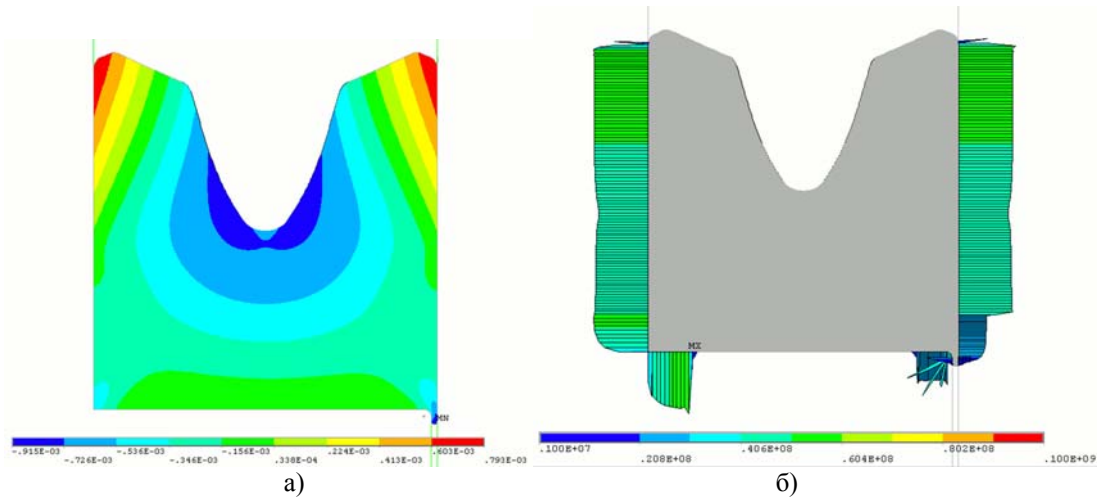


Рис. 2. Осевые перемещения (а) и контактные давления (б)
в манжете по ГОСТ 6969-54 при давлении рабочей жидкости 50 МПа

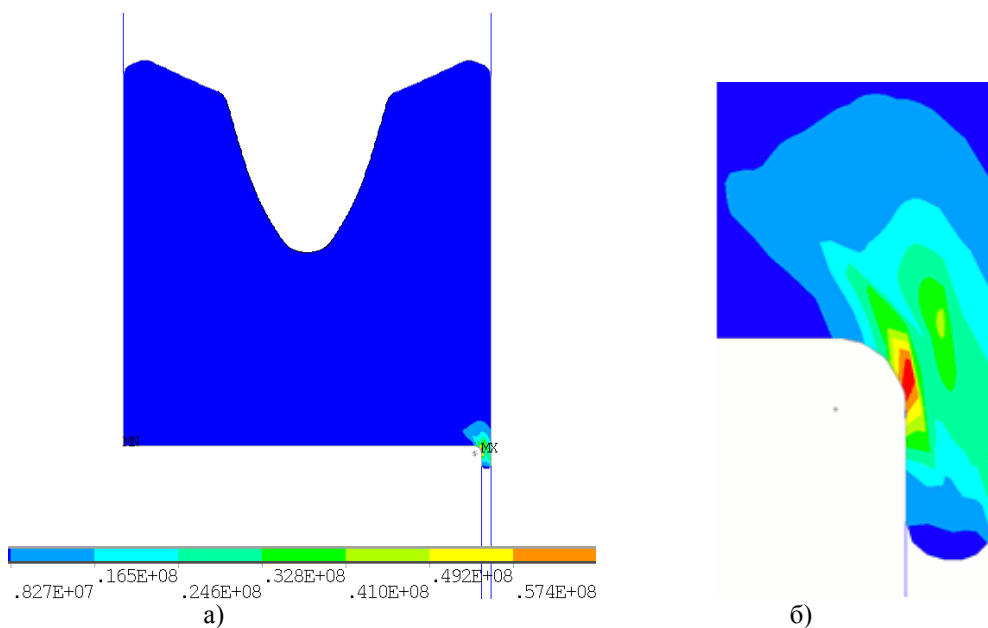


Рис. 3. Напряжённо-деформированное состояние манжетного уплотнения по ГОСТ 6969-54 при давлении рабочей жидкости 50 МПа по всей площади поперечного сечения(а) и вблизи зазора (б)

Для надёжного запираения жидкости детали уплотнения должны плотно прилегать к сопряженным к ним деталям соединения за счёт предварительного поджатия и прижатия рабочим давлением жидкости. При этом уплотняющие детали должны входить во все неровности механической обработки уплотняемой поверхности и не допускать образования зазора при движении, по которому могла бы происходить утечка жидкости. На основании этого для оценки параметров работы уплотнения предложены к использованию следующие критерии [11–12]:

- коэффициент запаса прочности уплотнения $[n] = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}}$,
- где σ_{\max} и $[\sigma]$ - соответственно максимальные и допускаемые эквивалентные напряжения в уплотнении, МПа;
- величина выдавливания материала уплотнения в зазор L_s , мм;

- относительная величина выдавливания материала уплотнения в зазор, равная предыдущей величине, отнесенной к зазору $K_3 = \frac{L_s}{\delta}$;
- максимальное контактное давление по уплотняемой поверхности p_k^{\max} , МПа;
- коэффициент запираения рабочей жидкости $K_{зп} = \frac{\bar{p}_k}{p}$,
- где \bar{p}_k – среднее контактное давление по уплотняемой поверхности, МПа; p – давление рабочей жидкости, МПа.

Значения критериев, рассчитанных с помощью разработанной параметрической модели, для манжет различного типа при диаметре поршня 220 мм и величине зазора $\delta=0,25$ мм представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения критериев работы уплотнений в герметизируемом зазоре

Тип уплотнения	Коэф. запаса прочности $n_{зп}$	Выдавливани-е в зазор L_3 , мм	Выдавливани-е, отнесённое к зазору K_3	Макс. контактное давление p_k^{\max} , МПа	Коэф. запира-ния рабочей жидкости, $K_{зп}$
ГОСТ 6678-72	3,1	1,06	4,2	56,7	1,13
ГОСТ 14896-84	4,9	0,75	3,0	48,9	0,97
ГОСТ 6969-54	3,9	0,63	2,5	57,1	1,14

Как видно из таблицы, наиболее полную оценку работы уплотнений в герметизируемом зазоре дает величина выдавливания материала уплотнения в зазор L_3 и выдавливание, отнесённое к зазору K_3 .

На основании расчётов по приведённым выше моделям установлены основные закономерности и характер поведения манжет в зазоре:

- выдавливание в зазор и эквивалентные напряжения изменяются по линейным зависимостям прямо пропорционально радиусу скругления кромки канавки поршня, уплотняемому зазору, давлению рабочей жидкости и обратно пропорционально радиусу скругления уплотнения;
- максимальные эквивалентные напряжения находятся в непосредственной близости от кромки канавки поршня (рис. 3, б);
- увеличение высоты приводит к незначительному уменьшению (в пределах 0,001 мм на каждый 1 мм высоты) величины выдавливания в зазор, при этом внутренние напряжения увеличивается (0,1 МПа на 1 мм высоты);
- увеличение давления на 10 МПа приводит к росту величины выдавливания в зазор на 0,1 мм и внутреннего напряжения - на 5 МПа.

Литература.

1. Буялич, Г. Д. Анализ работы уплотнений гидростоек механизированных крепей = Analysis of seal of hydraulic legs of power supports / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – Отд. вып. 7 : Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. – С. 238–248.
2. Буялич, К. Г. Оценка параметров герметичности гидростоек механизированных крепей : автореф. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / Буялич Константин Геннадьевич. – Кемерово, 2012. – 18 с.
3. Буялич, Г. Д. Регулярная сетка конечных элементов манжетного уплотнения гидростоек = Regular lattice of finite elements collar seal hydrodesk / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – Отд. вып. 3 : Горное машиностроение. – С. 119–121.
4. Буялич, Г. Д. Обоснование плотности сетки цилиндра гидростойки при расчётах методом конечных элементов =

- Justification of the density of the mesh cylinder hydrodeskin in the calculation of finite element method / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – Отд. вып. 3 : Горное машиностроение. – С. 126–129.
5. Буялич, Г. Д. Оценка плотности конечно-элементной сетки модели / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., 18–19 мая 2012 г. В 3-х ч. Ч. 1 / Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, 2012. – С. 22–24.
 6. Буялич, Г. Д. Использование показателя плотности конечно-элементной сетки модели / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. для молодых ученых, Юрга, 24–25 мая 2012 г. В 2-х т. Т. 2 / Юрг. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том.политехн. ун-та, 2012. – С. 283–284.
 7. Буялич, К. Г. О моделировании резиноподобных материалов методом конечных элементов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, ГУ КузГТУ, 15–16 нояб. 2005 г. – Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т, 2005. – С. 234–235.
 8. Воеводин, В. В. К вопросу определения контактного давления в уплотнительных узлах / В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2004. – № 6.1. – С. 58–59.
 9. Александров, Б. А. Влияние параметров уплотняющего элемента на перекрытие зазора / Б. А. Александров, К. Г. Буялич // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Юрга, ЮТИ ТПУ, 21–22 мая 2009. – Томск : Изд-во Том.политехн. ун-та, 2009. – С. 623–626.
 10. Buyalich, G. D. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation / Buyalich G. D., Buyalich K. G. // Mining 2014 : Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control : Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. – Amsterdam – Paris – Beijing : Atlantis Press, 2014. – P. 167–170.
 11. Буялич, К. Г. Критерии оценки качества работы уплотнения гидростойки механизированной крепи = Criteria of an Estimation of Quality of Work of Consolidation of Hydraulic Legs of Powered Support // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 8–10.
 12. Буялич, К. Г. Критерии оценки герметичности гидростоек механизированных крепей // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : тр. X Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово : ИУУ СО РАН, 2008. – С. 170–172.

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛИЗАЦИИ В РЕГИОНАЛЬНОЙ И ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

И.А. Кудряшова, д.э.н., доц.

Кемеровский институт (филиал) ФГБОУ ВПО

«Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»

650992, Россия, г. Кемерово, пр. Кузнецкий, 39. Тел./факс: (3842) 75-07-21

E-mail: kudrina2007@mail.ru

Экономико-математические модели широко применяются для анализа современных тенденций развития мирохозяйственных связей.

При использовании прогностических динамических моделей учитывается специфика динамики важных экзогенных параметров, таких, как прогнозируемая численность трудовых ресурсов или показатели внешнеэкономической конъюнктуры, глобализации мировой экономики. Если первые прогнозируются с достаточной степенью точности, то последние характеризуются высоким уровнем неопределенности и требуют вариантного подхода к прогнозированию.

На основе прикладных экономических исследований может формулироваться стратегия экономической политики. Качественный экономический рост предусматривает формирование новой модели развития экономики.

Одной из важнейших задач является оценка позитивных и негативных последствий глобализации на базе комплексного исследования глобализации мировой экономики, как результата транс-

формации международных экономических отношений в условиях глобализации мирохозяйственной системы. Современный этап развития мирового хозяйства переживает сложный, диалектический процесс, формируемый под воздействием разнонаправленных тенденций интернационализации и регионализации, интеграции и фрагментации, глобализации и локализации. Процесс глокализации (конструкция термина «Glocalization» = global + localization) мировой экономики рассматривается автором как результат трансформации международных экономических отношений в условиях глобализации мирохозяйственной системы, что позволит повысить объективность изучения процесса глобализации и достоверность разноразмерной оценки последствий этого явления. Данную задачу, по нашему мнению, следует решать исходя из иерархии макроэкономических показателей в зависимости от взаимодействия основных производственных факторов открытости региональной экономики, адекватно отражающих состояние внешнеэкономического комплекса региона (таких как, производственный, финансовый, технологический, интеллектуальный, человеческий капитал, информационные технологии).

Из множества классификаций методов принятия решений, основанных на применении различных признаков, по-нашему мнению, наиболее перспективными для решения задач данного типа являются методы анализа иерархий [2]. Данный выбор определен следующими преимуществами иерархий:

1. Иерархическое представление системы можно использовать для описания того, как влияют изменения приоритетов на верхних уровнях (глобальный уровень) на приоритеты элементов нижних уровней (региональный уровень).
2. Иерархии представляют более подробную информацию о структуре и функции системы на нижних уровнях и обеспечивают рассмотрение акторов и их целей на высших уровнях.
3. Естественные системы, составленные иерархически, т. е. посредством модульного построения и затем сборки модулей, строятся намного эффективнее, чем системы, собранные в целом.
4. Иерархии устойчивы и гибки, поскольку малые изменения вызывают малый эффект, а добавления к хорошо структурированной иерархии не разрушают ее характеристик.

В условиях встраивания региональной и национальной экономики в систему мирохозяйственных связей проблема неопределенности и экономической свободы присуща отношениям между региональным, национальным и глобальными рынками. Однако она не может решаться методами микроэкономики, или прямым включением всей совокупности отдельных фирм или регионов в глобальный рынок.

Главным моментом, который раскрывает содержание автономии региональной экономики внутри национального и глобального рынков, является формирование рыночной иерархии, пронизанной паутинами инвестиционных кластеров, втягивающих в свою орбиту территориальные рынки разного уровня. Таким образом, обеспечивается целостность экономики и подразумевается встраивание региональной экономики в геоэкономическую систему.

Обычно этапы реформирования экономики рассматриваются как процесс субъективного отношения государства, общества и рынка к экономическому росту как внешнему для себя объекту. Общепринятым является выделение этапов экономического роста как последовательных ступеней рыночной трансформации: адаптация – восстановительный рост – модернизация. В логике этой цепочки лежит и тезис об эффективности модернизации снизу, а не сверху. Это – типично микроэкономический подход. С точки зрения макроэкономики высокого уровня зрелости в условиях глобализации, когда уже можно говорить об экономической синергетике, экономический рост представляется эндогенным продуктом взаимодействия социально-экономических субъектов глобальной макроэкономической системы – финансового капитала, государства, региона, реального сектора и массового индивида, вовлеченных в процессы глобализации мировой экономики.

При моделировании сложных социально-экономических процессов нередко возникает проблема в получении количественной оценки явлений, которые непосредственно не измеряются (например, конкурентоспособность, риск, инвестиционная привлекательность, социальный капитал, открытость экономики и т. п.). С другой стороны при принятии управленческих решений, лицо, принимающее решение, обычно сталкивается с проблемой анализа сложной системы взаимосвязи компонент, воздействующих на значение исследуемого показателя. Чем лучше исследователь разбирается в проблеме, тем точнее будет его прогноз. Из множества различных экономико-математических моделей, используемых для воспроизведения определенного качества изучаемого процесса, изучения существующих взаимосвязей между структурными элементами анализируемой системы, выбранный метод анализа иерархий (МАИ) является наиболее оптимальным и адекватным для отражения исследуемых явлений объективной действительности – при функционировании региональных экономических систем в условиях глобализации.

Согласно основному принципу, положенному в основу использования МАИ, предложенного Т. Саати, американским математиком японского происхождения, практика принятия решений связана с оценкой и взвешиванием альтернатив, удовлетворяющих заданному набору целей [3]. Используя парные сравнения элементов данный метод позволяет получать количественные оценки факторов, не подлежащих непосредственно количественному измерению.

При решении задачи, связанной с оценкой последствий глобализации на национальном и региональном уровнях, нами разработана экономико-математическая модель оценки последствий глобализации на национальном и региональном уровнях, представляющая собой матрично-блочную модель, использованную в целях выявления положительных и отрицательных последствий включения страны и региона в систему мирохозяйственных отношений. В основу моделирования был положен алгоритм анализа и эвристический способ принятия экономических решений в условиях неопределенности на основе экспертных оценок с использованием МАИ для оценки влияния глобализации на показатели региональной экономики, не подлежащих непосредственно количественному измерению.

Выбор данного метода определен тем, что он в наибольшей степени удовлетворяет требованиям универсальности, учета многокритериальности выбора в условиях неопределенности из дискретного или непрерывного множества альтернатив (в нашем случае возможных типов региональной экономической политики), простоты подготовки и переработки экспертной информации применительно к позиции эндогенного (локального) и экзогенного (глобального) воздействия глобализации, суть которой образуют резко усилившаяся взаимозависимость, взаимовлияние, взаимодействие различных процессов, а непосредственные последствия чрезвычайно трудно, а иногда, невозможно, отделить от тех процессов и тенденций, представляющих продукт их внутреннего развития. Применительно к решению данной задачи нами был разработан алгоритм моделирования в целях выбора наиболее эффективного типа региональной экономической политики в зависимости от оценки прямого и косвенного влияния глобализации из возможных трех: политики «бюджетного федерализма» (выравнивания уровней развития регионов), политики «поляризованного (сфокусированного) развития» регионов и региональной экономической политики на базе концепции «глокализации регионального развития» на основании критерия минимизации негативных и максимизации позитивных последствий влияния глобализации на национальном и региональном уровнях.

Сравнительный анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы: наибольшее позитивное влияние глобализации и на региональном, и на национальном уровнях оказывает региональная экономическая политика на основе «концепции глокализации регионального развития». На национальном уровне наибольшее негативное воздействие глобализация оказывает в условиях осуществления региональной экономической политики на основе «концепции глокализации», в то время как на региональном уровне – в условиях политики «поляризованного развития». При сравнении критериев эффективности можно говорить о том, что «концепция глокализации» является более эффективной политикой на региональном уровне (значение критерия эффективности на региональном уровне составляет 6,71, в то время как на национальном уровне значение критерия равно 1,46).

Данная задача может служить ярким примером разработки алгоритма планирования регионального развития в условиях глобализации на основе экономико-математической модели формирования «новой» региональной экономики, способной выполнять роль эффективного механизма привлечения и перераспределения капитала в рыночной экономике, стимулировать инвестиционную активность, качественно повысить рейтинг региона, на основе инновационного подхода к оптимизации регионального экономического развития в условиях глобализации с учетом обоснования бесперспективности развития экологоопасных производств с позиций повышения конкурентоспособности региональной экономики и устойчивого развития страны.

Литература:

1. Кудряшова И.А. Глобализация и регион.- М.: Финансы и статистика, 2007. – С.169.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник. -2-е изд., доп. и перераб. –М.: Финансы и статистика, 2004. С. 14-16.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1989.

**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАВНОПРОЧНОГО
ЭЛАСТОМЕРНОГО УПЛОТНИТЕЛЬНОГО КОЛЬЦА ДЛЯ УСЛОВИЙ
РАДИАЛЬНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА**

*Б.М. Абдеев, к.т.н., проф., Т.Ф. Брим, к.т.н., зам. декана, Г.Е. Муслиманова, к.т.н., зав. кафедрой
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева
Республика Казахстан, 070010, г. Усть-Каменогорск, ул. Севастопольская 18-15,
8 (7232) 540-583, 8 (7232) 540-231, e-mail: tbrim@mail.ru*

Проблема совершенствования несущих элементов конструкций [1, 2] и, в частности, резиновых кольцевых уплотнений для машиностроения и других отраслей техники [3-5], представляет собой целый комплекс актуальных и, вместе с тем, весьма сложных задач механики твердого деформируемого тела [6] и теории оптимального управления [1].

Авторами данной статьи моделируется осесимметричное напряженно-деформированное состояние резинового уплотнителя криволинейно-трапециидального профиля с плавно-изменяющейся шириной $b = b(r)$, ($b_n \leq b \leq b_s$, $R_s \leq r \leq R_n$) и толщиной $h_s = \text{const}$ (рисунок 1) при условии неизменности разности радиального σ_r и кольцевого σ_ψ нормальных напряжений

$$\sigma_r - \sigma_\psi = S \equiv \sigma_{rr} = \text{const} \quad (1)$$

после установки кольца в поршневую канавку глубины h_k с наибольшим горизонтальным размером $l_k > b_s$ (рисунок 2) без надавливания на её кромки. Такое конструктивное решение, подтверждённое практикой [3, 5], является более эффективным и удобным, по сравнению с монтажом герметизирующего элемента в круговую проточку на внутренней поверхности цилиндра. Кроме того, в процессе работы эластомерного кольца, значительно уменьшается вероятность выскакивания его из гнезда (вследствие самозаклинивания) и среза резины в подвижных соединениях (УПС) [3]. Естественно, что способность кольца к самозаклиниванию реализуется только в случае геометрического подобия профиля посадочной канавки и деформированного сечения уплотнителя, заполняющего поршневую проточку (см. рисунок 2).

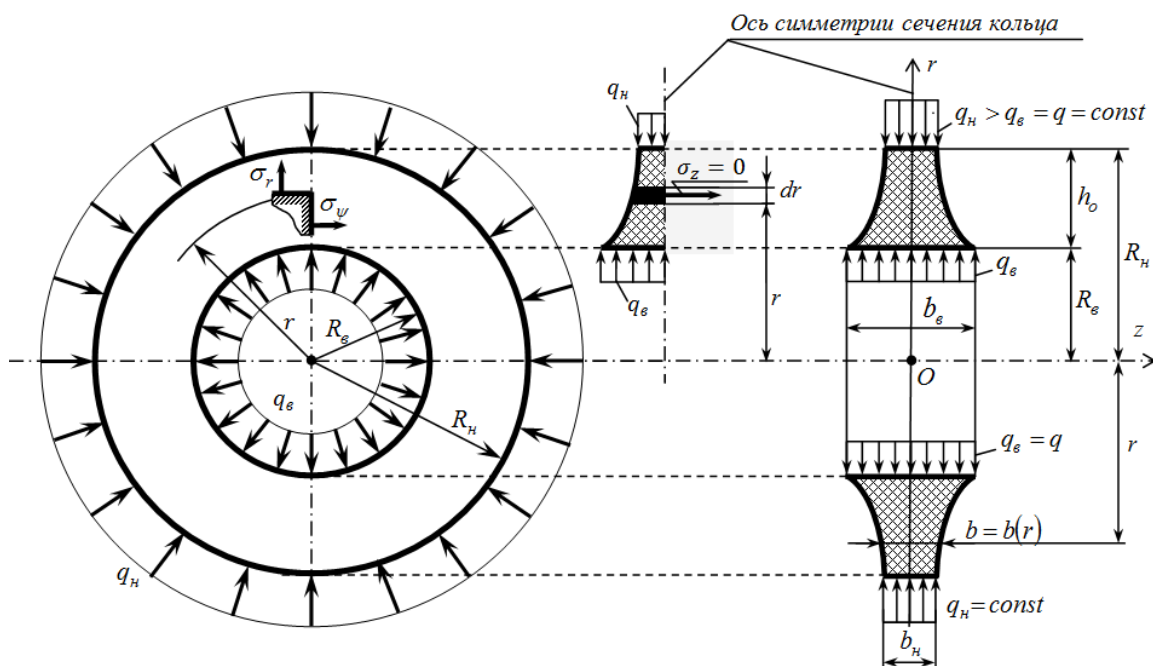


Рис. 1. Расчетная схема кольцевого уплотнительного элемента для условий предварительного натяга

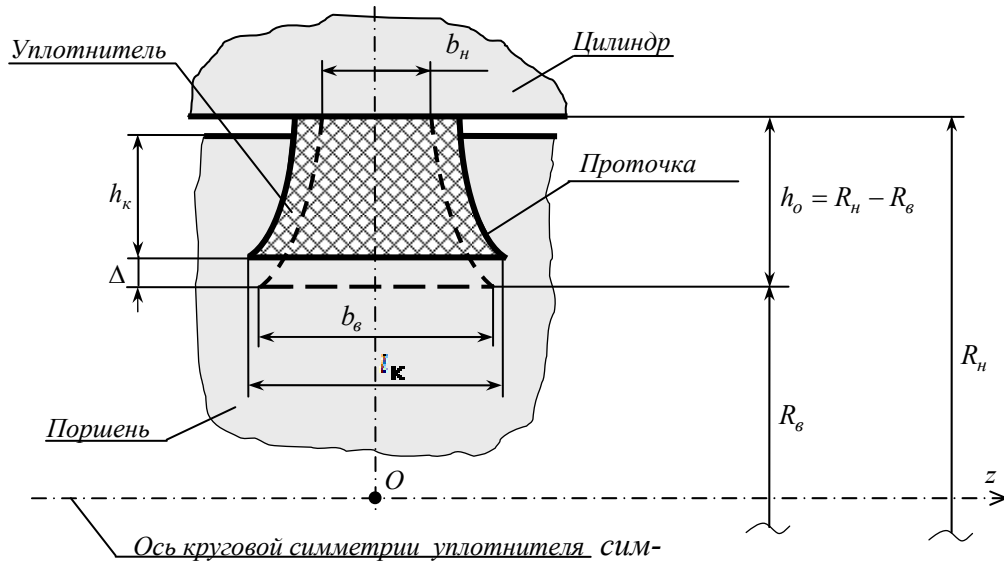


Рис. 2. Сечение деформированного герметизирующего элемента

В этой связи следует также отметить, что стандартные герметизирующие резинотехнические изделия прямоугольного, круглого и эллиптического (овального) профилей [4, 5] не являются равнопрочными и не способны к самозаклиниванию, в отличие от расчетной схемы более надежного и экономичного уплотнителя, изображенного на рисунке 1.

Равенство (1) представляет собой известную в сопротивлении материалов классическую гипотезу прочности (критерий Кулона-Сен-Венана) с приведённым напряжением $\sigma_{\text{пр}} \equiv S = \text{const}$, обеспечивающим максимальное снижение расхода материала конструируемой детали.

В основу рассматриваемой расчетной схемы уплотнителя, учитывающей полярно-симметричное распределение напряжений $\sigma_r(r)$, $\sigma_\varphi(r)$ и относительных линейных деформаций $\varepsilon_r(r)$, $\varepsilon_\varphi(r)$, $\varepsilon_z(r)$ в цилиндрической системе координат zOr для тел вращения (рисунок 1) [6], вводим следующие предпосылки, дополняющие общепринятые базовые гипотезы механики деформируемого однородно – сплошного изотропного твердого тела [3, 5, 6]:

- а) материал конструкции – эластомер (синтетическая резина) подчиняется закону Гука при наибольшей по абсолютной величине деформации $\varepsilon_{\text{max}} \leq 0,25$;
- б) не учитывается собственный вес кольца и трение на площадках контакта в предположении наличия смазки и высококачественной обработки взаимодействующих поверхностей;
- в) монтаж уплотнителя осуществляется при нормальной температуре 20°C [4], а исследуемый процесс – изотермический и стационарный;
- г) в пределах

$$1,5 \text{ МПа} \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right) \leq q \leq 3 \text{ МПа} \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right) \quad (2)$$

варируется нормативное контактное давление q , что гарантирует сохранение герметичности уплотнительного соединения в конце срока его эксплуатации [3];

- д) предусматривается, рекомендуемое [3, 5], предварительное (монтажное) растяжение ε кольца по внутреннему радиусу R_ε , которое описывается функцией относительной деформации $\varepsilon_\varphi = \varepsilon_\varphi(r)$, когда $r = R_\varepsilon$:

$$\varepsilon_\varphi(R_\varepsilon) = \varepsilon = 0,01 + 0,05, \quad (3)$$

- е) соблюдается неравенство реактивных контактных нагрузок

$$q_n \geq q_\varepsilon - q \quad (4)$$

при соответствующей разности размеров $b_n < b_\varepsilon$ профиля кольцевого элемента, обеспечивающее равноценную герметизацию [3,5], контактирующих с уплотнителем, поверхностей цилиндра и поршня;

ж) контртела, в сравнении с кольцом, предполагаются абсолютно жесткими (недеформируемыми), так как модуль упругости E резины на несколько порядков меньше, чем у взаимодействующей пары «цилиндр – поршень», конструируемой из металла [3, 4, 7];

з) по аналогии с теорией расчета вращающихся дисков переменной толщины $b(r)$ [6-9] считаем, что эластомерное кольцо относительно тонкое и соотношение между геометрическими параметрами кольца $b(R_z) = b_z = \max$, $R_z = \max$ не выходит за пределы

$$b_z \cdot R_z^{-1} \leq 0,25, \quad (5)$$

то есть осевое нормальное напряжение $\sigma_z = 0$, а составляющие σ_r и σ_φ равномерно распределены по любому цилиндрическому сечению r , являясь функцией только переменной r ($R_z \leq r \leq R_z$, рисунок 1).

Для математического описания процесса нагружения упругого элемента используем фундаментальные формулы классической теории упругости [6-9]:

- условие равновесия для кольца переменной ширины $b(r)$ сечения

$$\frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dr} \cdot \sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0, \quad (6)$$

- уравнение совместности линейных деформаций ε_r и ε_φ , выраженное через напряжения σ_r, σ_φ ,

$$\frac{d\sigma_\varphi}{dr} - \mu \cdot \frac{d\sigma_r}{dr} - (1 + \mu) \cdot \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0, \quad (7)$$

где $\mu = 0,48 + 0,496$ – коэффициент Пуассона резины [3, 5] при температуре 20°C (см. вышеуказанное допущение в)), который в инженерных расчетах резинотехнических деталей обычно принимают равным $0,5$ [10];

- объединённые физико – геометрические соотношения Коши и обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_\varphi = \frac{u}{r} = \frac{1}{\kappa_\varphi E} (\sigma_\varphi - \mu \cdot \sigma_r), \quad \varepsilon_r = \frac{1}{\kappa_r E} (\sigma_r - \mu \cdot \sigma_\varphi), \quad (8)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\delta \omega}{\delta z} = -\frac{\mu}{\kappa_\varphi E} (\sigma_r + \sigma_\varphi), \quad (9)$$

где $\kappa_\varphi = 1,2 + 1,3$ – безразмерный параметр формы или коэффициент ужесточения [5, 7];

$u = u(r)$, $\omega = \omega(z, r) = \varepsilon_z z$ – функции перемещений произвольной точки сечения кольца в направлении координатных осей r и z (рисунок 1);

- граничные условия

$$\sigma_r(R_z) = -q_z = -q, \quad u(R_z) = 0, \quad b(R_z) = b_z \quad (10)$$

для функциональных зависимостей $\sigma_r(r)$, $u(r)$, $b(r)$ в предположении, что геометрические характеристики R_z, R_z, b_z , а также регулируемое, согласно (2), нормативное контактное давление $q_z = q$ заданы конструктивно.

Интегрируя систему дифференциальных уравнений (1), (6), (7) с учётом граничных равенств (10), получаем:

$$C = 0, \quad S = -q(1 - \mu) \cdot \left(1 + \ln \frac{R_z}{R_z}\right)^{-1}; \quad (11)$$

$$\sigma_r = -q \cdot \left(1 + \ln \frac{r}{R_z}\right) \cdot \left(1 + \ln \frac{R_z}{R_z}\right)^{-1}, \quad \sigma_\varphi = -q \cdot \left(\mu + \ln \frac{R_z}{R_z}\right) \cdot \left(1 + \ln \frac{R_z}{R_z}\right)^{-1}; \quad (12)$$

$$b = b(r) = b_z \left(1 + \ln \frac{r}{R_z}\right)^{-(2-\mu)}, \quad R_z \leq r \leq R_z, |\sigma_r| > |\sigma_\varphi|; \quad (13)$$

где из физико-математического смысла моделируемого процесса контактирования следует, что решение (12)-(13) распространяется только на область $R_z \leq r \leq R_z$, $e^{-1} < R_z \cdot R_z^{-1} \leq 1$, лежащую за пределами замкнутого интервала $0 \leq R_z \cdot R_z^{-1} \leq e^{-1}$ с допущением (5), ограничивающим наибольшую ширину b_z профиля уплотнительного элемента. В случае $R_z \cdot R_z^{-1} = e^{-1} = (2,718 \dots)^{-1} = 0,3678 \dots$ и $r = e^{-1} \cdot R_z$ имеют место равенства $\sigma_r = \sigma_\varphi = \infty$, $b = \infty$, а при $R_z \cdot R_z^{-1} \leq e^{-1}$ действительных значений для размера $b(r)$ не существует и оба напряжения будут растягивающими ($\sigma_r > 0$, $\sigma_\varphi > 0$), что противоречит принятой концепции о радиальном сжатии уплотнителя (рисунок 1).

С помощью найденной функции $\sigma_r(r)$ подтверждается соблюдение прогнозируемого соотношения (4) между контактными нагрузками q_z и q_n , так как, согласно (12),

$$|\sigma_r(R_z)| = q \cdot \left(1 + \ln \frac{R_z}{R_z}\right)^{-1} = q_n > q_z = q, \quad \ln \frac{R_z}{R_z} < 0. \quad (14)$$

Имея функциональные выражения напряжений (12) и зависимости (8)-(9), определяем характерные линейные деформации $\varepsilon_\psi(R_\varphi)$, ε_{\max} , $\varepsilon_r(R_\varphi)$, позволяющие: **1)** оценивать монтажное растяжение (3); **2)** осуществлять проверку условия $\varepsilon_{\max} \leq 0,25$ линейно – упругой работы материала кольца (см. допущение **а**); **3)** вычислять наибольший номинальный размер l_N посадочной канавки и требуемый предварительный натяг Δ (рисунок 2):

$$\varepsilon_\psi(R_\varphi) = q \cdot \ln \frac{R_\varphi}{R_N} \cdot [k_\varphi \cdot E (1 + \ln \frac{R_\varphi}{R_N})]^{-1}; \quad (15)$$

$$\varepsilon_{\max} = |\varepsilon_r(R_\varphi)| = q (1 - \mu^2) \cdot [k_\varphi \cdot E (1 + \ln \frac{R_\varphi}{R_N})]^{-1}; \quad (16)$$

$$\varepsilon_r(R_\varphi) = q \cdot \mu (1 + \mu + 2 \ln \frac{R_\varphi}{R_N}) \cdot [k_\varphi \cdot E (1 + \ln \frac{R_\varphi}{R_N})]^{-1}; \quad (17)$$

$$l_N = b_r [1 + \varepsilon_r(R_\varphi)]; \quad \Delta = u(R_\varphi) = \varepsilon_\psi(R_\varphi) \cdot R_\varphi. \quad (18)$$

Анализ зависимости (13) и соответствующего графика на рисунке 3 позволяют констатировать, что кривая $b(r)$ имеет явно выраженный гиперболический характер во всём диапазоне $e^{-1} \leq r \cdot R_N^{-1} \leq 1$, однако основываясь на предпосылке (5), вышеуказанный для функций (12)-(13) промежуток $e^{-1} < R_\varphi \cdot R_N^{-1} \leq 1$ должен быть уменьшен, ориентировочно, до длины замкнутого интервала $0,75 \leq r \cdot R_N^{-1} \leq 1$, охватывающего относительно тонкие резиновые кольца. Имея в виду проектно – конструктивные соображения, легко проверить, что геометрическому ограничению (5) удовлетворяют все трапецидально-криволинейные кольцевые профили, вписывающиеся в квадрат при следующих соотношениях габаритных размеров:

$$\frac{b_r}{R_N} = 1 - \frac{b_N}{R_N} \leq 0,25; \quad 0,75 \leq \frac{R_\varphi}{R_N} < 1; \quad \frac{b_r}{b_N} = \left(1 + \ln \frac{R_\varphi}{R_N}\right)^{-(2-\mu)}. \quad (19)$$

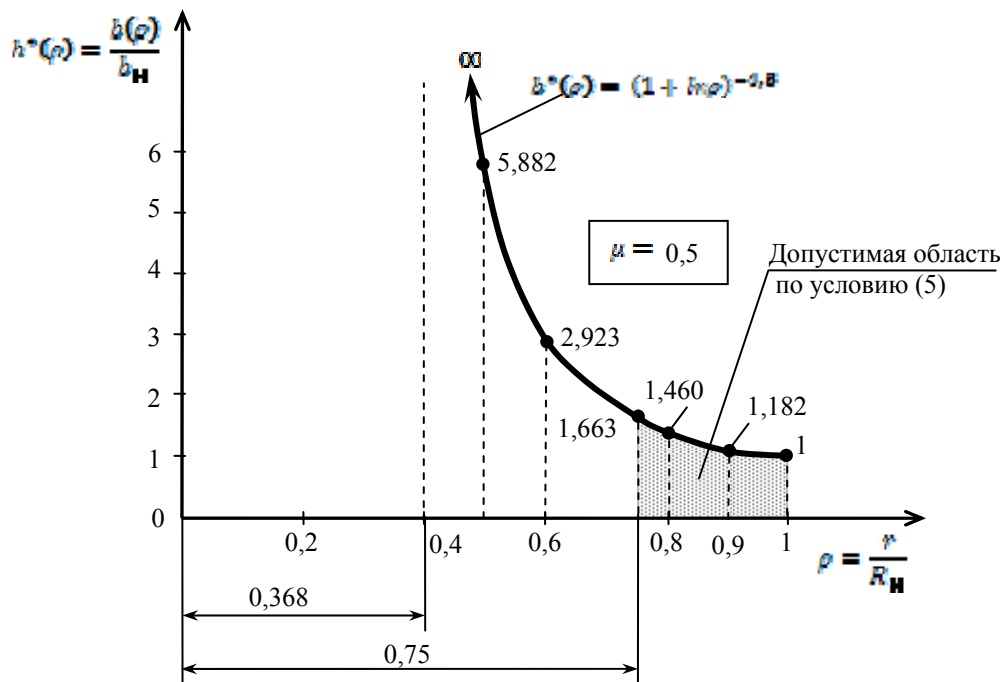


Рис. 3. Графическая интерпретация функции $b^*(\rho)$ изменения ширины сечения кольца

Полученные аналитические выражения (12), (13), (15), (17), (18) проиллюстрированы численным примером расчета резинового кольца, имеющего коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$ [10], опубликованным авторами в научном журнале Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева [11].

Обобщая результаты проведенных исследований, формулируем следующие выводы:

1) разработана оригинальная теоретическая силовая модель тонкого самозаклинивающегося радиального эластомерного кольца с переменной шириной поперечного профиля, и, на её основе, решена новая фундаментально-прикладная задача теории упругости;

2) математические выкладки доведены до расчетных формул всех основополагающих параметров контактного взаимодействия, возникающего на сопряженных поверхностях уплотнителя, цилиндра и поршня в процессе нормируемого предварительного натяга и регулируемого монтажного растяжения кольца;

3) выведенные аналитические зависимости можно непосредственно использовать при оптимальном проектировании, прогрессивных по форме сечения, радиальнонагруженных кольцевых уплотнителей с целью эффективной герметизации подвижных и неподвижных соединений пневматических, гидравлических и вакуумных систем современных машин и механизмов.

Литература.

1. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
2. Рейклейтис Г., Рейвиндран А.А., Регсдэл К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 1/Пер. с англ. В.Я. Алтаева и В.И. Моторина. – М.: Мир, 1986. – 315 с.
3. Кондаков Л.А. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник /Под ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. - М.: Машиностроение, 1994. – 448 с.
4. Аврушенко Б.Х. Резиновые уплотнители. – Л.: Химия, 1978. – 136 с.
5. Кондаков Л.А. Уплотнения гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости/Пер. с англ. М.И. Рейтмана под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
7. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Т.2. – М.: Машгиз, 1958. – с. 487-544.
8. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. /Избранные работы под ред. Э.И. Григолюка. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
9. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
10. Лавендел Э.Э. Расчёт резинотехнических изделий. – М.: Машиностроение, 1976. – 232 с.
11. Абдеев Б.М., Брим Т.Ф., Муслиманова Г.Е. Равнопрочное радиальное эластомерное уплотнительное кольцо с постоянным эквивалентным напряжением и регулируемым натягом/ Вестник ВКГТУ, 2014. - №3. – С. 16-21.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

О.В. Тайлаков, М.П. Макеев, А.Н. Кормин, А.И. Смыслов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук

Расширяющиеся возможности вычислительной техники и современных программно-аналитических комплексов обработки цифровых изображений позволяют использовать информационные технологии для автоматизации исследования гранулометрического состава угольной шихты. Поставлена задача оценки содержания в обломочной горной породе частиц угля различного размера. Гранулометрический состав определяет наименование обломочных горных пород и характеризует распределение зерен по размеру.

Было предложено разработать алгоритм с использованием *ImageProcessingToolbox*, входящего в состав *MatLab*, С помощью встроенной функции подсчитывается количество гранул в одной пробе угольной шихты при трехкратном увеличении по схеме(рис. 1) [2].

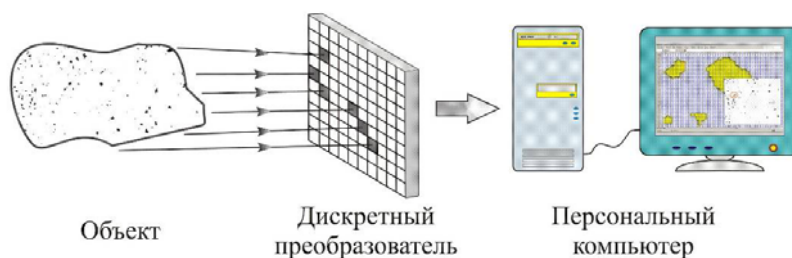


Рис. 1. Принципиальная схема проведения эксперимента

Проведение эксперимента по оценки процентного содержания гранул в пробе угольной шихты заключалось в следующем. На приборное стекло размещалась проба угольной шихты полученной в результате механоактивации. Затем стекло закреплялось на приборном столике микроскопа, к которому присоединялась видео камера. Полученное изображение сохранялось на компьютер в формате JPG. Постепенное передвижение приборного столика на 1 мм в различных направлениях позволило получить 9 кадров размером 1x1 мм каждый. Далее сохраненные снимки обрабатывались с помощью разработанного алгоритма определения гранулометрических параметров[1-3].

Уравнение распределения размера зерен относительно их количества имеет вид:

$$F(\tilde{S}, N) = \sum_{i=1}^N \tilde{S}_i \cdot k \quad (1)$$

где \tilde{S}_i – площадь i -го гранулы, пиксел; N – количество гранул; $k = a/n$ – коэффициент пересчета, $m \cdot 10^{-6}$ /пикс.; a – ширина кадра, $m \cdot 10^{-6}$; n – количество пикселей в столбце.

Алгоритм обработки и анализа изображения (поиска объектов) заключается в следующем:

- на исходное изображение накладывается фильтр позволяющий увеличить контрастность изображения;
- изображение приводится к бинарному виду;
- применяется фильтр подавления шумов;
- поиск объектов и определение их размеров;
- вычисление площади объектов.

При этом наиболее сложной процедурой является поиск объектов, который заключается в разбиении всего изображения на перекрывающиеся окна размером 2x2 пикселя. Для количества n двоичных четверок (Q_i) i -й группы, найденных на изображении, площадь гранул вычисляется по формуле (1):

$$S = \sum_{i=1}^5 a_i n(Q_i).$$

Значения коэффициентов a_1, \dots, a_5 , зависящих от расположения двоичных четверок в матрице 2x2, принимаются равными $a_1=1/4$, $a_2=1/2$; $a_3=7/8$; $a_4=1$; $a_5=3/4$.

В результате бинаризации и морфологических операций над исходным изображением (рис. 2, а) формируется бинарное изображение (рис. 2, б). В результате операции поиска объектов формируется матрица, которая отображается как политровое изображение (рис. 2, в), на котором каждый объектокрашен уникальным цветом. В заключение вычисляются площади объектов.

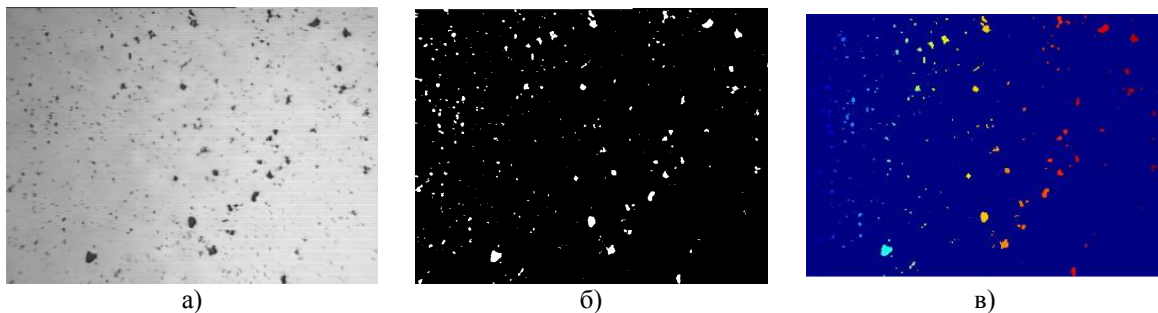


Рис. 2. Алгоритм преобразования изображения:

а) исходное изображение; б) изображение после применения фильтров; в) конечное изображение

В качестве примера реализации алгоритма определения гранулометрического состава угольной шихты при механоактивации в коксохимическом производственном цикле ОАО «Кокс» приведены результаты оценки гранул в таблице 1.

Таблица 1

Размер гранул, $\text{м} \cdot 10^{-6}$	Анализ гранулометрического состава									Процентное содержание гранул в пробе, %
	Номер кадра ($1 \times 1 \text{ м} \cdot 10^{-3}$) пробы ($3 \times 3 \text{ м} \cdot 10^{-3}$)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0-400	315	345	245	215	220	220	15	300	400	96,4
401-800	6	3	6	6	9	9	3	1	–	1,8
801-1200	3	3	–	–	–	–	–	–	–	0,3
1201-1600	3	3	3	–	–	–	–	–	–	0,4
1601-2000	3	3	3	3	3	3	–	–	–	0,8
2001-2400	3	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1
2401-2800	3	2	–	–	–	–	–	–	–	0,2

На основе проведенных исследований был получен сравнительный анализ по определению гранулометрических параметров угольной шихты с помощью традиционного способа и на основе разработанного алгоритма (рис. 3).

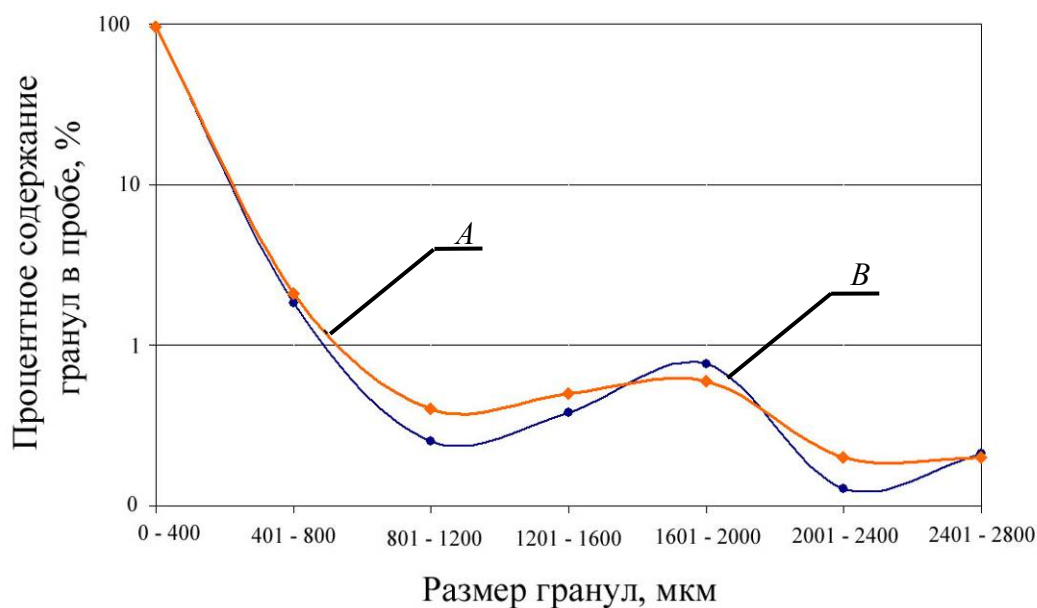


Рис. 3. График определения гранулометрического состава угольной шихты (А – традиционный способ, В – на основе алгоритма определения гранулометрических параметров)

Для управления метановыделением в угольных шахтах необходимо знать о скорости метановыделения [4-8], определяемой степенью пустотности и пористости угля. Существующие методы определения пористости угля основаны на определении суммарного объема открытых пор с помощью заполнения водой при кипячении навески угля, а также ртутной порометрии, применяемой для определения объема пор и их распределения по размеру угольного образца. Данные методы достаточно трудоемки и требуют применения специального оборудования [2].

В связи с этим поставлена задача разработать метод определения пористости углей на основе бинаризации оптических изображений аншлифов углей.

Для разработки метода были отобраны несколько образцов угля на шахтах Кузбасса. Приготовление аншлифов углей [9, 10] состояло из двух операций: шлифование и полирование на шлифовальном станке. Шлифовались две взаимно параллельные плоскости, перпендикулярные к наслоению, сначала на грубой наждачной бумаге, затем на мелкой. После чего на ткани полировалась одна

из поверхностей с применением алмазной пасты. Для получения изображений аншлифов с различным увеличением (рис. 4, 5) применялся электронный растровый микроскоп с разрешающей способностью 1280x960 пикселей и возможностью сохранения снимков в электронном формате JPG.

Принципиальная модель пористости углей представлена на рис. 6. В расчетах было принято допущение, что объем поры равен суммарному объему сфер вписанных в изображение поры.

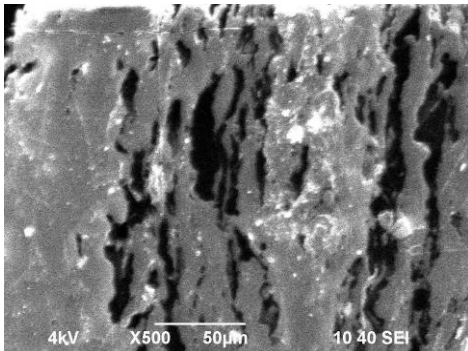


Рис. 4. Изображение аншлифа угля (образец №1)

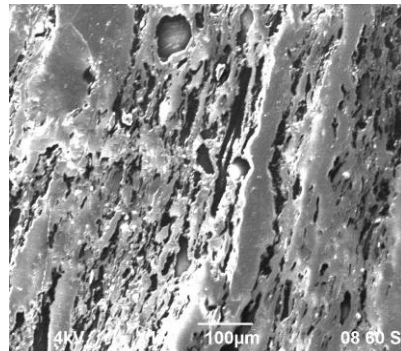


Рис. 5. Изображение аншлифа угля (образец №2)

На полученных снимках выделялись оптические образы пор. Пористость определяется как отношение суммарного объема пор $V_{\text{пор}}$ к объему угольного образца.

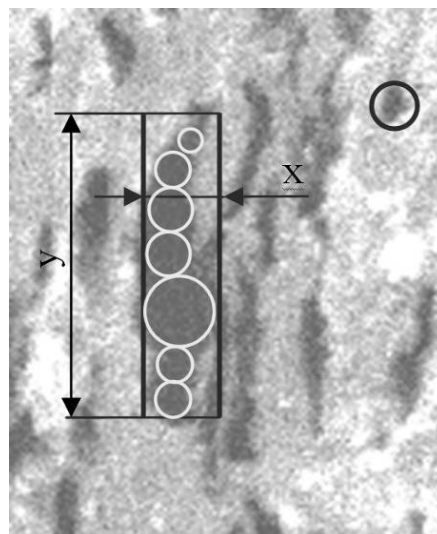


Рис. 6. Принципиальная модель пористости углей

Для дальнейшего определения пористости исследуемых образцов углей были приняты следующие допущения:

1. Если $x/y < 2/3$, то $V_{\text{пор}} = \frac{4}{3}\pi R^3$.

2. Если $x/y > 2/3$, то $V_{\text{пор}} = \sum_{i=1}^N \frac{4}{3}\pi R_i^3$,

где $V_{\text{пор}}$ – объем i -ой поры, мм^3 ; R – радиус окружности, мм , N – количество окружностей, вписанных в пору.

3. Суммарный объем пор рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{пор}}^{\text{образ}} = \sum V_{\text{пор}_i}$$

4. Толщина образца угля Z принимается равной R_{max} .

Результаты расчета пористости исследуемых углей сведены в таблицу.

Таблица 2

Значение пористости образцов угля

№ образца	1	2	1	2	3
Размер изображения, мкм	254 x 190	128 x 96	656 x 492	840 x 630	254 x 190
Площадь изображения, мм ²	0,048	0,012	0,323	0,530	0,048
Суммарный объем пор, мм ³	$1,79 \cdot 10^{-05}$	$4,33 \cdot 10^{-06}$	$2,21 \cdot 10^{-04}$	$6,74 \cdot 10^{-04}$	$2,71 \cdot 10^{-06}$
Объем образца, мм ³	$9,11 \cdot 10^{-04}$	$1,17 \cdot 10^{-04}$	$2,02 \cdot 10^{-02}$	$2,48 \cdot 10^{-02}$	$5,92 \cdot 10^{-04}$
Пористость, %	1,97	3,70	1,09	2,71	0,46

В дальнейшем планируется автоматизировать процесс распознавания оптических образов пор и разработать алгоритм с последующим определением пористости углей.

Литература.

1. Тайц, Е.М., Андреева, И.А. Методы анализа и испытания углей.–М.:1983-300 С.
2. Рудаков, П. И., Сафонов, В. И. Обработка сигналов и изображений. MatLab 5. – М.: 2000 –200 с.
3. Внедрение систем утилизации угольного метана для производства тепловой и электрической энергии в Кузбассе / Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Исламов Д.В., Макеев М.П. // Газовая промышленность Спецвыпуск №672, Москва: Издательство «Газойл пресс», 2012. – С. 62 – 63.
4. Тайлаков О. В., Кормин А. Н., Смыслов А. И., Тайлаков В. О. Совершенствование метода определения газоносности угля для повышения эффективности дегазации угольных пластов. – Журнал «Газовая промышленность» ноябрь/682/2012. Москва: Издательство «Газойл пресс», 2012. Стр. 46-47.
5. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Повышение эффективности комплексного управления газовыделением на выемочном участке шахты. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности - Кемерово, 2012, №2, С. 20-27.
6. Клишин В.И., Опрुक Г.Ю. Расчёт газовыделения в очистной забой в системах разработки подэтажными штреками «крепь штрек»./Вестник КузГТУ - Кемерово 2012 . № 6, 2012.
7. Полевщиков Г.Я., Плаксин М.С., Газодинамическая активность угольных пластов и зональная дезинтеграция массива горных пород при проведении подготовительных выработок. // Российско-китайская научная конференция «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах» – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012, С. 83-89
8. ГОСТ 9414.2-93 Уголь каменный и Антрацит. Метод подготовки образцов угля.- М. Издательство стандартов, 1994 – 20 с.
9. ГОСТ Р50177.2 и ГОСТ 12113-94 Шлифование и полирование пропитанного образца. – М. Издательство стандартов, 1995 – 20 с.

СЕКЦИЯ 3: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОНЦЕНТРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА НА ПЕРЕХОД ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ

*Р.А. Мамадалиев, ассистент, В.Н. Кусков, д.т.н., проф.,
Ю.Д. Земенков, д.т.н., проф., А.А. Попова, ассистент
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: mamadaliev_it@mail.ru*

Введение

В 70-х годах XX века были разработаны инверторные источники питания сварочной дуги, их постоянно совершенствовали и в настоящее время они получают все большее применение на практике. При описании преимуществ инверторов перед традиционными выпрямителями, прежде всего, отмечают их технические характеристики [1]:

- в несколько раз меньший вес и размеры;
- высокий коэффициент полезного действия (КПД), что заметно снижает расход электроэнергии;
- возможность применения повышенного импульса тока в начале сварки;
- наличие защиты от короткого замыкания и «залипания» электрода;
- стабилизированный ток вне зависимости от колебания напряжения в сети.

Следует также учитывать и технологические преимущества инвертора: заметное снижение разбрызгивания, что позволяет сократить потери металлического стержня, повышая эффективность использования электродов [2]. Увеличение КПД может привести к росту эффективной тепловой мощности источника нагрева и изменить течение металлургических процессов, в частности, окисление легирующих элементов и их переход в наплавленный металл.

Цель исследования – оценить влияние эффективной тепловой мощности различных высококонцентрированных источников нагрева на переход легирующих элементов в наплавленный металл.

Материалы и методы исследования

В работе использовали традиционный выпрямитель ВДУ-506 и инвертор Handy TIG 180 AC/DC Control Pro при силе сварочного тока 60, 80, 100 и 120 А. Изменение силы тока отражается на протяженности зоны термического влияния [3] и должно отразиться на содержании элементов в наплавленном металле, что может привести к изменению его структуры. Пластины сталей 12Х18Н10Т и 20Х13 сваривали встык, марки и химический состав исследованных электродов диаметром 3,2 мм приведены в табл. 1 – 2. После выполнения каждого слоя шва и охлаждения его на воздухе производили зачистку от шлака до металлического блеска.

Для выполнения поставленной задачи были выбраны электроды: ЦЛ-9, УОНИ-13/НЖ, ОЗЛ-6, ОК 76.35, ОЗЛ-8, ОК-61.30 и Feji ER-308 [4, 5]. Эти электроды наиболее широко применяются в различных отраслях промышленности Тюменской области. Электроды имеют различную цену: так, шведские электроды ОК 76.35, ОК-61.30 и Feji ER-308 вдвое дороже своих российских аналогов ОЗЛ – 8, ОЗЛ-6 и ЦЛ-9.

Для определения химического состава наплавленного металла, электродных стержня и покрытия использовали рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) зачищенного шва на спектрометре X-MET 5000 с пакетом программ X MET. Источником возбуждения служила рентгеновская трубка с родиевым анодом PW 1404/00 (напряжение составляло 60 кВ, сила тока 50 мА). Время на определение одного элемента на глубине 0,1 – 0,5 мм от поверхности составляло около 1 мин. Использовали также растровый электронный микроскоп JSM 6490 с приставками для энергодисперсионного и волнового микроанализа Oxford Inca и дифракции обратно рассеянных электронов – EBSD HKL с энергодисперсионным спектрометром (разрешение детектора 133 эВ с необходимым аппаратным и программным обеспечением для сбора и индексации картин дифракции электронов), спектрометром с дисперсией по длинам волн (с четырьмя кристаллами – анализаторами с разрешением 5 эВ), системой HKL для картирования, анализа текстур и индексации фаз.

Образцы наплавленного металла после остывания до комнатной температуры вырезали в поперечном сечении сварных швов в 40 мм от края образцов. Шлифы для дальнейших исследований изготавливали на абразивной бумаге с различной зернистостью, каждый раз при смене «шкурки» изменяя направление шлифования под углом 90°.

Таблица 1

Химический состав электродных стержней

Марка электрода	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Nb, %	S, %	P, %
ОК 76.35	0,09	0,11	0,5	0,03	–	–	0,011	0,010
ОЗЛ-6	0,09	0,7	1,42	20,9	11,51	0,52	0,015	0,010
УОНИ-13\НЖ	0,11	0,09	0,64	10,45	0,4	-	0,025	0,030
ЦЛ-9	0,08	0,36	1,71	17,0	11,0	0,9	0,010	0,020
Feji ER -308	0,06	0,5	2,04	18,95	9,77	0,01	0,02	0,03
ОК 61.30	0,05	0,05	2,03	19,55	9,66	0,02	0,01	0,02
ОЗЛ - 8	0,6	1,0	1,92	17,58	8,33	0,01	0,018	0,025

Таблица 2

Химический состав электродных покрытий

Марка электрода	Si, %	Mn, %	Cr, %	Mo, %	Ca, %	Ti, %	V, %	Fe, %
ОК 76.35	0,6	3,1	8,5	0,89	28,97	7,7	0,084	8,5
ОЗЛ-6	1,44	3,67	3,0	0,07	32,97	3,24	0,074	6,2
УОНИ-13\НЖ	2,1	9,4	21,08	1,08	21,76	6,9	0,09	40,0
ЦЛ-9	0,87	9,4	25,19	0,87	33,08	8,9	0,075	38,18
Feji ER -308	0,8	4,94	15,95	0,19	25,0	21,03	0,93	27,33
ОК 61.30	1,5	4,69	17,16	0,35	20,0	7,01	1,03	41,07
ОЗЛ - 8	1,6	2,56	2,5	0,02	30,0	4,10	0,05	1,86

Эффективную тепловую мощность высококонцентрированного источника нагрева определяли по параметрам дуги [3]

$$q_{эф} = \eta \cdot U \cdot I,$$

где $q_{эф}$ – эффективная тепловая мощность высококонцентрированного источника нагрева (электрической дуги), Вт;

η – эффективный КПД сварочной дуги (для ручной дуговой сварки с выпрямителем приняли $\eta = 0,7$, с инвертором – 0,85);

U – напряжение дуги, В;

I – сварочный ток, А.

Инверторный источник обладает большей величиной $Q_{эф}$ почти на 16 % по сравнению с выпрямителем.

Результаты исследования и их обсуждение

Уравнения регрессии, описывающие корреляцию содержания легирующих элементов в наплавленном металле (y) и величину эффективной тепловой мощности источника нагрева (x), приведены в табл. 3. Их можно использовать для оценки перехода элементов в наплавленный металл при доверительной вероятности близкой к 0,9.

Таблица 3

Результаты перехода легирующих элементов в наплавленный металл

Марка электрода	Источник питания	Химический элемент	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции R^2
Feji ER -308	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = -2E-07q_{эф}^2 + 0,0009q_{эф} + 17,396$	$R^2 = 0,9675$
		Ni	$C_{Ni} = -5E-07q_{эф}^2 + 0,0024q_{эф} + 7,1952$	$R^2 = 0,961$
		Mn	$C_{Mn} = -2E-08q_{эф}^2 - 0,0002q_{эф} + 1,5484$	$R^2 = 0,9818$
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = -3E-07q_{эф}^2 + 0,0018q_{эф} + 16,102$	$R^2 = 0,8831$
		Ni	$C_{Ni} = -5E-07q_{эф}^2 + 0,0024q_{эф} + 7,2394$	$R^2 = 0,9349$
		Mn	$C_{Mn} = -7E-08q_{эф}^2 + 0,0001q_{эф} + 1,0987$	$R^2 = 1$

Международная научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы современного машиностроения»

Марка электрода	Источник питания	Химический элемент	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции R ²
ЦЛ-9	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = -4E-07q_{эф}^2 + 0,0021q_{эф} + 10,507$	R ² = 0,8965
		Ni	$C_{Ni} = 5E-07q_{эф}^2 - 0,0011q_{эф} + 10,287$	R ² = 0,953
		Mn	$C_{Mn} = 9E-08q_{эф}^2 - 0,0009q_{эф} + 2,3057$	R ² = 0,857
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = 3E-08q_{эф}^2 - 0,0007q_{эф} + 14,245$	R ² = 0,9968
		Ni	$C_{Ni} = -2E-07q_{эф}^2 + 0,0019q_{эф} + 6,5668$	R ² = 0,8416
		Mn	$C_{Mn} = 9E-08q_{эф}^2 - 0,0009q_{эф} + 2,1422$	R ² = 0,9073
ОК 76.35	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = 9E-07q_{эф}^2 - 0,0043q_{эф} + 10,914$	R ² = 0,9939
		Ni	$C_{Ni} = -3E-08q_{эф}^2 + 6E-05q_{эф} + 3,1779$	R ² = 0,9194
		Mn	$C_{Mn} = -4E-07q_{эф}^2 + 0,0016q_{эф} - 0,6275$	R ² = 0,9931
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = 5E-07q_{эф}^2 - 0,003q_{эф} + 10,23$	R ² = 0,9984
		Ni	$C_{Ni} = -3E-08q_{эф}^2 + 6E-05q_{эф} + 3,1779$	R ² = 0,9194
		Mn	$C_{Mn} = -2E-07q_{эф}^2 + 0,0012q_{эф} - 0,4055$	R ² = 0,9382
ОЗЛ-6	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = -8E-07q_{эф}^2 + 0,0015q_{эф} + 21,084$	R ² = 0,9737
		Ni	$C_{Ni} = -4E-08q_{эф}^2 + 0,0012q_{эф} + 3,1277$	R ² = 0,9375
		Mn	$C_{Mn} = -2E-06q_{эф}^2 + 0,0058q_{эф} - 2,8327$	R ² = 0,9448
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = 4E-07q_{эф}^2 - 0,0026q_{эф} + 22,121$	R ² = 0,9748
		Ni	$C_{Ni} = 2E-07q_{эф}^2 - 0,0012q_{эф} + 10,082$	R ² = 0,9959
		Mn	$C_{Mn} = 2E-07q_{эф}^2 - 0,0011q_{эф} + 3,1548$	R ² = 0,8536
УОНИ-13\НЖ	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = -2E-06q_{эф}^2 + 0,0018q_{эф} + 18,168$	R ² = 0,9806
		Ni	$C_{Ni} = 4E-08q_{эф}^2 - 0,0002q_{эф} + 0,7021$	R ² = 0,8003
		Mn	$C_{Mn} = -4E-08q_{эф}^2 + 0,0001q_{эф} + 0,3794$	R ² = 0,9113
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = -3E-07q_{эф}^2 - 0,0018q_{эф} + 20,16$	R ² = 0,9407
		Ni	$C_{Ni} = -2E-08q_{эф}^2 + 9E-05q_{эф} + 0,2679$	R ² = 0,8005
		Mn	$C_{Mn} = -4E-09q_{эф}^2 + 6E-05q_{эф} + 0,291$	R ² = 0,9739
ОК 61.30	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = 3E-07q_{эф}^2 - 0,0017q_{эф} + 20,94$	R ² = 0,9801
		Ni	$C_{Ni} = 2E-07q_{эф}^2 - 0,0009q_{эф} + 10,653$	R ² = 0,9569
		Mn	$C_{Mn} = -5E-08q_{эф}^2 + 0,0003q_{эф} + 0,428$	R ² = 0,997
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = -5E-07q_{эф}^2 + 0,0014q_{эф} + 18,391$	R ² = 0,869
		Ni	$C_{Ni} = 3E-07q_{эф}^2 - 0,0012q_{эф} + 10,793$	R ² = 0,9282
		Mn	$C_{Mn} = -5E-09q_{эф}^2 + 8E-05q_{эф} + 0,6787$	R ² = 0,8945
ОЗЛ - 8	ВДУ- 506	Cr	$C_{Cr} = 3E-07q_{эф}^2 - 0,0012q_{эф} + 18,269$	R ² = 0,9901
		Ni	$C_{Ni} = 4E-07q_{эф}^2 - 0,002q_{эф} + 11,124$	R ² = 0,984
		Mn	$C_{Mn} = -6E-07q_{эф}^2 + 0,0026q_{эф} - 0,8583$	R ² = 0,9469
	Handy TIG 180	Cr	$C_{Cr} = 3E-07q_{эф}^2 - 0,0007q_{эф} + 17,56$	R ² = 0,9042
		Ni	$C_{Ni} = 1E-06q_{эф}^2 - 0,0052q_{эф} + 14,998$	R ² = 0,9998
		Mn	$C_{Mn} = -6E-08q_{эф}^2 + 0,0008q_{эф} + 0,2621$	R ² = 0,9165

При повышении силы тока до 120 А при использовании инверторного источника питания отмечено существенное снижение расхода электродов и количества проходов для получения требуемых размеров шва. В частности, количество электродов на заполнение стыка снизилось до 5-и по сравнению с 7-ю при сварке с выпрямителем ВДУ-506. Кроме того, облицовочный шов приобрел признаки, характерные для автоматической сварки: мелкочешуйчатость, плавный переход металла шва к основному металлу, техническую эстетичность.

В наплавленный металл переходит требуемое количество хрома, достаточное для обеспечения коррозионной стойкости металла шва. При этом сталь 20X13 имеет мартенситную или феррито-мартенситную (в зависимости от скорости охлаждения) структуру, а сталь 12X18H10T – аустенитную. Тип источника питания практически не влияет на степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл (в пределах погрешности измерений) за исключением использования электродов ЦЛ-9. В этом случае содержание элементов в наплавленном металле при сварке с выпрямителем ВДУ-506 на 0,3 – 1,3 массовых % выше. Минимальное из указанных значений наблюдается при переходе марганца, содержание которого в металле невелико. Преимущество инверторного источника питания, обеспечивающего больший переход легирующих элементов, наблюдается в случае получения сварного соединения на повышенном токе 120 А.

С увеличением эффективной тепловой мощности степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл изменяется в пределах погрешности измерений за исключением получения соединений электродами ЦЛ-9 и ОЗЛ-8. В этих случаях различие концентрации может достигать 4,6 масс. %. Слабая зависимость перехода элементов от $Q_{эф}$ может определяться составом электродного покрытия, а также малым интервалом исследованных значений эффективных мощностей, который был выбран в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей электродов.

Максимальное содержание хрома и никеля в наплавленном металле при сварке пластин из стали 12X18H10T наблюдали в случае использования электродов ОК 61.30 и Feji ER – 308, а при соединении пластин из стали 20X13 – когда применили электроды ЦЛ – 9. В указанных случаях хром переходил как из электродного стержня, так и из покрытия; никель - только из стержня, т.к. он обладает малым сродством к кислороду и практически не окисляется в процессе сварки.

Литература.

1. <http://kovka-svarka.ru/2012/01/svarka> (дата обращения 21.10.2014)
2. <http://aspirans.com/istochnik-pitaniya-kak-energo-i-resursosberegayushchii-faktor-v-svarochnom-proizvodstve-0#/> (дата обращения 21.10.2014)
3. Куликов В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. -Минск: Экоперспектива, 2003. 415 с.
4. Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12X18H10T // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (часть 9). – С. 1794-1797.
5. Кусков В.Н., Обухов А.Г., Мамадалиев Р.А. Влияние режима на переход хрома в наплавленный металл при сварке стали 20X13 // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2013. – № 2 (120). – С. 54-56.
6. Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Галинский А.А. Влияние источника нагрева на легирование наплавленного металла при получении соединений высоколегированных сталей // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11 (часть 3). – стр. 515-518;

АНТИКОРРОЗИОННОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ ЦИНК – НАНОБОРИД ХРОМА: ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА

*Г.В. Галевский, д.т.н., зав. кафедрой, В.В. Руднева, д.т.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843) 74-89-13
E-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Среди защитных металлических и неметаллических покрытий цинковые покрытия являются одними из наиболее эффективных и распространенных. Широкое применение антикоррозионных цинковых покрытий для защиты стальных и чугуновых изделий обусловлено следующими причинами:

– высокая природная стойкость самого цинка вследствие образования на цинке в коррозионной среде защитных пленок из продуктов коррозии;

- высокая анодность защиты стали цинкованием в атмосферных условиях и в пресной воде при температурах до 343 К; при более высоких температурах цинковое покрытие защищает сталь в агрессивных средах только механически, превращаясь из анодного покрытия в катодное;

- цинкование реализуется во многих технологических вариантах, обеспечивающих различные механизмы образования, физико-химические и эксплуатационные характеристики покрытий;

- процессы цинкования технологически относительно просты, механизированы и автоматизированы, имеют высокие технико-экономические показатели.

Благодаря этому цинковые покрытия по объему и номенклатуре защищаемых от коррозии изделий не имеют равных среди других металлических покрытий. Исходя из механизма образования и физико-химических характеристик, в настоящее время можно выделить шесть видов цинковых покрытий:

- гальванические, получаемые в растворах электролитов из солей цинка под действием электрического тока;

- металлизационные, получаемые путем распыления расплавленного цинка струей воздуха или горячего газа;

- горячецинковые, получаемые погружением в расплавленный цинк;

- диффузионные, получаемые путем химико-термической обработки в смесях на основе порошка цинка;

- цинконаполненные, представляющие собой композиции, состоящие из цинкового порошка и связующего (синтетических смол);

- комбинированные, представляющие собой комбинацию цинкового покрытия любого вида и лакокрасочного или полимерного покрытия.

При этом способ нанесения цинковых покрытий определяет такие их эксплуатационные свойства, как прочность сцепления с поверхностью покрываемого металла, твердость, пористость, коррозионная стойкость, а также сферы преимущественного применения. Можно констатировать, что ни один из перечисленных способов не является универсальным и в силу разных причин имеет присущие ему технологические ограничения. Так, цинковые покрытия, полученные гальваническим способом, отличаются высокой чистотой, плотностью и однородностью структуры, вследствие чего обладает удовлетворительной механической прочностью и химической стойкостью. В качестве преимуществ данного процесса цинкования можно отметить следующие:

- электроосаждение осуществляют при сравнительно низких температурах (298 – 343 К) и плотности тока (2 – 30 А/дм²);

- возможность регулирования толщины цинкового покрытия, скорости его электроосаждения, нанесение на изделие с жесткими допусками по геометрическим размерам;

- возможность применения для защиты резьбы муфт и труб, в т.ч. нефтяного сортамента, тонкостенных труб, тогда как применение других высокотемпературных способов вызывает значительную деформацию их профиля, незаменимость при нанесении на внешнюю и внутреннюю поверхности покрытий различной толщины, либо на одну из них;

- сокращение расхода цинка по сравнению с другими в 3 – 4 раза.

Наряду с отмеченными преимуществами этот способ цинкования имеет недостатки, вообще присущие гальванической технологии: чувствительность к изменению состава электролита, возможность наводороживания и, как следствие, охрупчивания защищаемого металла с образованием в нем микротрещин и пористости, необходимость очистки растворов от механических примесей и регенерации, образование высокотоксичных сточных вод, определенные трудности в утилизации жидких и твердых отходов.

Одним из направлений улучшения эксплуатационных свойств гальванических цинковых покрытий может быть модифицирование электроосаждаемой цинковой матрицы специально вводимыми в электролит нанодисперсными добавками, значительный положительный опыт применения которых накоплен авторами в процессах электролитического хромирования, никелирования, меднения [1 – 6]. В связи с этим исследованы электроосаждение, коррозионная стойкость и микротвердость гальванических композиционных покрытий (ГКП) цинк – нанопорошок бориды хрома CrB₂. Содержание CrB₂ в нанопорошке составляет 95,12 % масс., а размерный диапазон наночастиц соответствует интервалу 20 – 90 нм. Микрофотографии и дисперсный состав нанопорошка бориды хрома представлены на рисунках 1 и 2. Средний и максимальный размер наночастиц бориды хрома составляет 42,0 и 90,0 нм. Цинковые ГКП осаждались из щелочного цинкового электролита, содержащего ZnO – 10, NaOH – 100, органическая добавка – 4 кг/м³ при температуре 298 К, катодной плотности тока

0,2 кА/м², концентрации нанопорошка бориды 6 – 8 кг/м³. В качестве анодов использовались цинковые пластинки размером 0,08×0,1 м, катодов – стальные образцы (сталь 3) с площадью поверхности 2,0·10⁻³ м². Для приготовления электролита – суспензии к навеске бориды добавляли небольшое количество чистого электролита, перемешивали до полного смачивания порошка, количественно переносили в электролизер и разбавляли до требуемой концентрации. Корректировка pH производилась с помощью растворов NaOH или H₂SO₄. Свежеприготовленный электролит прорабатывался в течение 2-х часов при катодной плотности тока 0,01 – 0,02 кА/м². В условиях лабораторных исследований осаждение покрытий проводилось в стеклянных термостатированных электролизерах емкостью 0,001 м³ при перемешивании суспензии магнитной мешалкой. Скорость движения электролита составляла 0,25 – 0,75 м/с. Содержание бориды хрома в композиционном покрытии определялось весовым методом после растворения покрытия в 10 %-ном растворе HCl. Процент включения CrB₂ в матрицу рассчитывался как отношение массы нерастворимого остатка к массе покрытия.

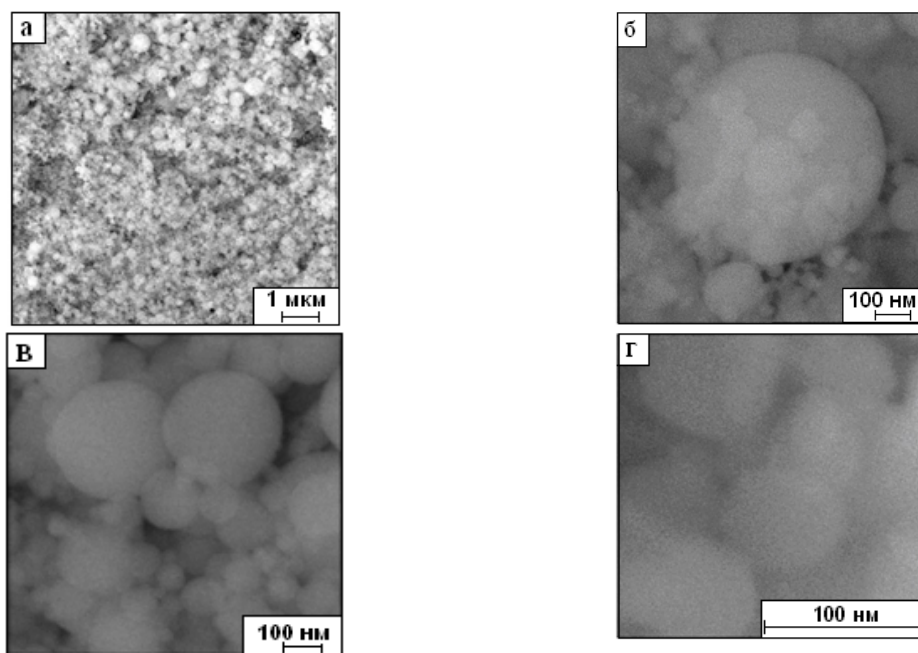


Рис. 1. Микрофотографии нанопорошка бориды хрома: а – в состоянии поставки; б – морфологическая картина агрегата; в – ансамбль частиц и агрегатов; г – отдельные частицы

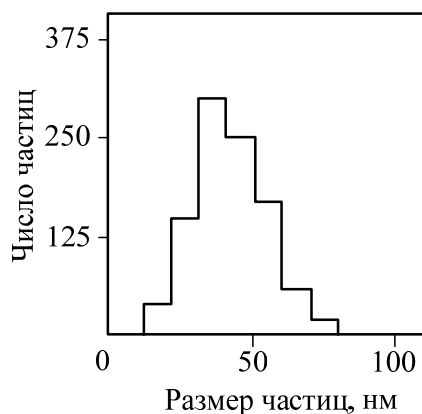


Рис. 2. Дисперсный состав нанопорошка бориды хрома (число частиц 738)

Коррозионная стойкость покрытия определялась по ГОСТ 9.308-85 методом испытания по воздействию нейтрального соляного тумана стальных образцов с осажденным композиционным покрытием толщиной 6 мкм при температуре 35°C. Для распыления и получения солевого тумана использовался 5 %-ный раствор хлорида натрия. Коррозионную стойкость покрытий оценивали по пер-

вым признакам коррозии основы. Продолжительность испытаний составляла 240 ч. Микротвердость определялась на образцах с покрытием толщиной 10 мкм. При определении микротвердости статическая нагрузка при измерениях составляла 0,2 Н. Выход цинка по току определялся весовым методом с помощью последовательно подключенного к электролизеру медного кулонометра.

Результаты исследования коррозионной стойкости покрытий приведены на рисунке 3. Содержание бориды хрома в ГКП составило 0,64 % масс. Цинковое и композиционное покрытия подвергались для повышения коррозионной стойкости пассивации – хроматированию и фосфатированию. Хроматирование проводили в растворе, содержащем $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 35, Na_2SO_4 – 15, HNO_3 – 7 кг/м³, при температуре 295 К в течение 20 секунд. Фосфатирование проводили в растворе, содержащем ZnO – 10, Na_3PO_4 – 50, NaNO_3 – 10 кг/м³ при температуре 345 К в течение 30 минут. Можно видеть, что введение в цинковое покрытие нанопорошка бориды хрома увеличивает его коррозионную стойкость в 2,3 раза. После хроматирования коррозионная стойкость композиционного покрытия возрастает в 1,8 раза, а после фосфатирования – в 2,2 раза. На цинковых покрытиях пассивирующий эффект проявляется в меньшей мере: коррозионная стойкость возрастает соответственно в 1,5 и в 1,3 раза. Следовательно, фосфатирование композиционных покрытий оказывается более эффективно, чем хроматирование, что весьма важно и с экологической точки зрения.

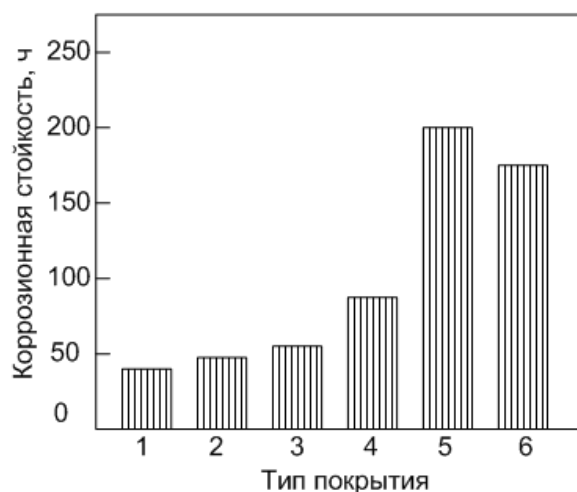


Рис. 3. Коррозионная стойкость гальванических цинковых покрытий (1, 2, 3 – цинковые покрытия до и после фосфатирования и хроматирования, 4, 5, 6 – композиционное покрытие цинк – борид хрома до и после фосфатирования и хроматирования)

Микротвердость цинковых покрытий составляет $1,00 \pm 0,10$ ГПа, композиционных покрытий $1,20 \pm 0,10$ ГПа, т.е. выше в 1,2 раза.

Анализ полученных результатов позволяет выделить следующие основные факторы повышения эксплуатационных свойств ГКП цинк – борид хрома. Наночастицы бориды хрома имеют форму, близкую к сферической или овальной, без острых кромок, обладают высокой химической и адсорбционной активностью, образуют устойчивые к седиментации и коагуляции электролиты – суспензии; благодаря малой массе эффективно переносятся к покрываемой поверхности. При электроосаждении цинка взвешенные в электролите наночастицы бориды благодаря гидродинамическим, молекулярным и электростатическим силам взаимодействуют с поверхностью растущего осадка, что приводит к образованию композиционного покрытия. При этом наночастицы бориды выступают в качестве центров кристаллизации, от которых начинается кристаллизация цинка. Благодаря большому количеству наночастиц бориды, участвующих в процессе, кристаллизация носит массовый многозародышевый характер, а образующиеся покрытия имеют малые размеры структурных фрагментов, характерный матовый цвет и практически беспористы. Сочетание безинерционного массопереноса наночастиц бориды и массовой кристаллизации цинка обуславливает равномерное осаждение покрытий на эквипотенциальных поверхностях. Малый размер частиц бориды и кристаллитов цинка обеспечивает точное копирование микрорельефа поверхности, что увеличивает общую поверхность и прочность сцепления композиционного покрытия с основой. Повышение качества ГКП – коррозионной стойкости

и микротвердости – достигается при малом содержании борида в покрытии – (0,6 – 0,7) % масс., что делает процесс экономичным.

Таким образом, из-за малого размера частиц борида хрома и их невысокого содержания в покрытии, повышение комплекса физико-механических свойств ГКП не может быть связано только с особыми свойствами борида. Следовательно, в отличие от микропорошков, нанопорошок борида является не только наполнителем или второй фазой, а выступает в качестве сильного структурообразователя в процессе электрокристаллизации цинка и обеспечивает его массовую кристаллизацию, что приводит к образованию высокодисперсной беспористой структуры покрытия с повышенной коррозионной стойкостью и микротвердостью.

Литература.

1. Ширяева Л.С. Исследование композиционных электрохимических покрытий никель – нанокарбонитрид хрома / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2014. – Т. XXII. - № 2. – С. 51 – 57.
2. Ноздрин И.В. Структура и свойства композиционных покрытий никель – нанопорошок карбонитрида хрома / И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, Л.С. Ширяева, В.В. Руднева // Наноинженерия. – 2013. - № 7(25). – С. 36 – 42.
3. Ширяева Л.С. Производство и применение карбида титана (оценка, тенденции, прогнозы) / Л.С. Ширяева, А.К. Гарбузова, Г.В. Галевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. - № 2(195). – С. 100 – 109.
4. Ноздрин И.В. Особенности свойств композиционного материала никель – нанодисперсный диборид хрома / И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. - № 9. – С. 46 – 48.
5. Руднева В.В. Особенности электроосаждения и свойства композиционных покрытий с наноконпонентами / В.В. Руднева, Г.В. Галевский // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2007. - № 3. – С. 39 – 43.
6. Гарбузова А.К. Упрочняющие гальванические композиционные покрытия на основе никеля с нано- и микропорошками карбида титана / А.К. Гарбузова, В.В. Руднева, Г.В. Галевский, И.В. Ноздрин // Металлургия : технологии, управление, инновации, качество : материалы XVIII Всерос. науч. практ. конф. / СибГИУ. – Новокузнецк, 2014. – С. 191 – 193.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОУРАВНОВЕШЕННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

И.К. Битугев, к.т.н, доц.,

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, тел.(3012) 41-22-73*

E-mail: dm_bik@mail.ru

Уравновешивание сил инерции возникающих в механизме, является одной из основных задач при проектировании новой машины. Задача уравновешивания заключается в устранении динамических реакций, возникающих при движении механизма. Переменные периодические силы, действующие на опоры механизма, могут вызвать вибрацию всей системы. Уравновешивание пространственных механизмов можно проводить креплением на подвижных звеньях противовесов [1,2] или постановкой на опоре дополнительных уравновешивающих устройств. В этих случаях достигается снижение уровня вибрации всей машины, но возрастают ее габариты и масса. В отдельных кинематических парах, также, возрастают реакции.

С точки зрения повышения производительности машины и разгрузки ее кинематических пар, более эффективно использование самоуравновешенных механических систем из повторяющихся механизмов. Силы инерции отдельных частей такой системы взаимно компенсируются. Задача построения таких систем решена для многоцилиндровых машин, механизмов клавишных соломотрясов, режущего аппарата сельскохозяйственных машин [4]. В плоских механизмах у этих систем относительные углы между кривошипами и массы отдельных частей подобраны из условия самоуравновешивания.

В машиностроении широко применяются системы из пространственных механизмов. Например, на базе двух одинаковых пространственных механизмов построены режущие аппараты косилочного типа [5], соломонабиватели, половонабиватели и режущий аппарат жатки зерноуборочных комбайнов. Возможности самоуравновешивания таких систем мало изучены и используются не полностью.

Рассмотрим систему из n повторяющихся одноконтурных пространственных механизмов с общим валом (рис.1). Массы, длины звеньев, углы между осями шарниров у всех механизмов одинаковы. Назовем два механизма «регулярными», если один может быть совмещен с другим (при одинаковом положении кривошипов) параллельным переносом вдоль оси вала и разворотом вокруг оси вала всего механизма как единого целого на угол γ . «Симметричными» назовем два механизма, которые после таких преобразований не совмещаются, но являются зеркальным отображением друг друга.

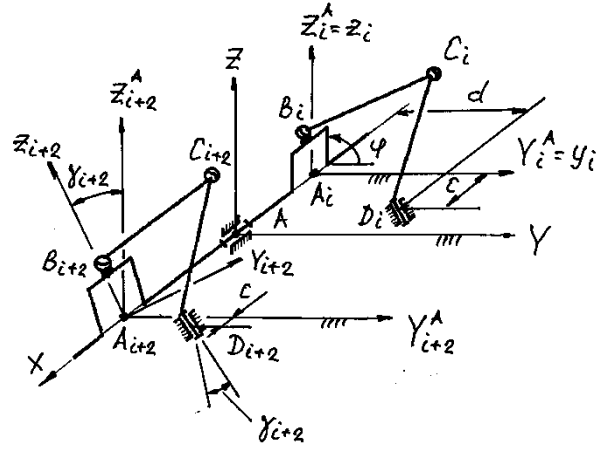


Рис. 1

На рис.2 приведена схема двухножевого режущего аппарата косилочного типа [4]. Два шести-звенных направляющих механизма $ABCDEF$ и $LMNKGKGF$ имеют общий ведомый вал F . Плоскость симметрии α — α перпендикулярна плоскости чертежа и содержит этот вал.

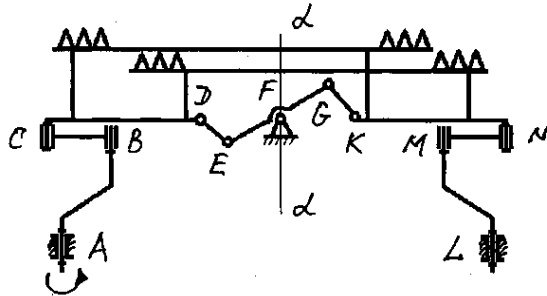


Рис. 2

Сдвиг фаз движения звеньев FE и FG и симметричность схемы обеспечивают встречное возвратно-поступательное движение ножей, поэтому силы инерции масс ножей взаимно уравновешены.

Чаще используется вариант схемы с общим ведущим валом. На рис.3 показан двухножевой режущий аппарат жатки зерноуборочного комбайна, основанный на базе двух механизмов с качающейся шайбой. Симметричное соединение механизмов $1-2-3-4-5-6$ и $1'-2'-3'-4'-5'-6'$ привода ножей 7 и $7'$ создает встречное их движение.

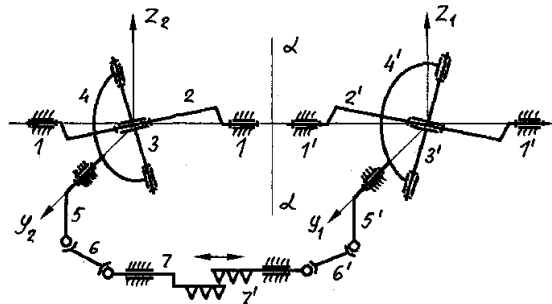


Рис. 3

Силы инерции, перпендикулярные плоскости симметрии $\alpha-\alpha$, взаимно гасятся. Подобная схема применена в механизме половонабивателя (рис.4) зерноуборочного комбайна, состоящем из двух механизмов ВВСС, симметричных относительно плоскости YZ , перпендикулярной коленчатому валу. Использование симметрии в компоновке таких систем позволяет устранять силы инерции, перпендикулярные плоскости симметрии.

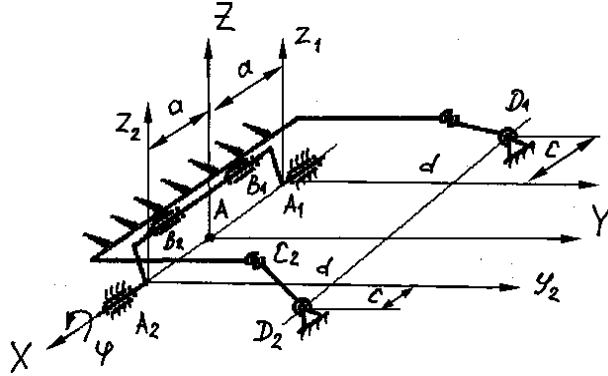


Рис. 4

В данной статье обобщаются результаты [3], полученные при исследовании условий самоуравновешивания механических систем.

Ниже рассматривается построение самоуравновешенных систем из одноконтурных пространственных механизмов с общим ведущим валом. Задача решается путем выбора относительных углов между кривошипами механизмов, их числа и взаимного расположения.

Под внешней самоуравновешенностью механической системы понимают такое состояние ее механизмов, когда главный вектор R и главный момент M сил инерции подвижных масс равны нулю

$$R = 0, \quad M = 0. \quad (1)$$

Такое определение подчеркивает, что при выполнении условий (1) только корпус машины не испытывает действия неуравновешенных сил, но те же силы могут вызывать изгибные колебания ведущего коленчатого вала, приводить к его стационарному изгибу. Комплекс этих явлений называют внутренней неуравновешенностью машины и учитывают при балансировке и прочностных расчетах валов.

Свяжем с основанием i -го механизма системы неподвижные оси координат x_i, y_i, z_i (рис.1) так, что оси x_i совпадают с ведущим валом, а координаты опор механизмов – $A_i(0, 0, 0)$; $D_i((-1)^i, c, d, 0)$, причем симметричные механизмы имеют нечетные номера.

В наиболее общем случае вращательного опорного шарнира, когда одна из проекционных осей совпадает с его осью, в шарнире действует пять компонентов динамической реакции, для любой другой координатной системы получим все шесть компонентов. Таким образом, в опоре A_i действуют реакции $R_{si}^A, M_{yi}^A, M_{zi}^A$, а в опоре D_i – реакции $R_{si}^D, M_{si}^D (s=x, y, z)$.

Главный вектор и главный момент опорных реакций всей системы являются векторными суммами реакций отдельных механизмов и поэтому могут быть устранены путем взаимного уравновешивания этих слагаемых. С этой целью требуется изменить величину и направление опорных реакций какого-либо механизма системы. Можно, например, скомбинировать q регулярных и m симметричных механизмов, преобразовать механизм, развернув его как единое целое на угол γ вокруг оси ведущего вала (рис. 1) и установив между кривошипами некоторый относительный угол Δ_i . Следует учесть, что разворот механизма приведет к повороту и его кривошип, так что фактически угол между кривошипами теперь $\Delta_i' = \Delta_i + \gamma_i$, а сдвиг фаз движения определяются углом Δ_i .

С учетом формул преобразования координат и рассмотренных симметричных механизмов запишем компоненты реакции в шарнире $N_i (N=A, B, C, D)$ преобразованного механизма в проекциях на оси систем координат X_i^N, Y_i^N, Z_i^N , центры которых расположены в точке N_i а оси параллельны осям XYZ

$$F_{xi}^N = (-1)^i F_{xi}^N, \quad F_{yi}^N = F_{yi}^N \cos \gamma_i - F_{zi}^N \sin \gamma_i, \quad F_{zi}^N = F_{yi}^N \sin \gamma_i + F_{zi}^N \cos \gamma_i, \quad (2)$$

где $F_{si} = R_{si}, M_{si}, F_{ti} = R_{ti}, M_{ti} (t=X, Y, Z)$ и являются функциями угла поворота $(\varphi + \Delta_i)$ ведущего вала, принятого за обобщенную координату.

Если расстояние от центра приведения A до i -го кривошипа обозначить a_i , то главный вектор и главный момент опорных реакций всей системы из n механизмов в координатах XYZ

$$R_i = \sum_{i=1}^n [R_i^A + R_i^B], \quad M_x^A = \sum_{i=1}^n (M_{xi}^D + dR_{zi}^D),$$

$$M_y^A = \sum_{i=1}^n [M_{yi}^A + M_{yi}^D + R_{yi}^D d \sin \gamma_i - (a_i + (-1)^i c) R_{zi}^D - a_i R_{zi}^A], \quad (3)$$

$$M_z^A = \sum_{i=1}^n [M_{zi}^A + M_{zi}^D + (-1)^i c R_{yi}^D + a_i (R_{yi}^A + R_{yi}^B) - R_{xi}^D d \cos \gamma_i],$$

причем слагаемые системы (3) определяются по (2).

Анализ (3) показывает, что использование симметричных механизмов позволяет полностью устранить осевую реакцию R_x и уменьшить моменты M_x, M_y, M_z . Развороты механизмов на углы γ_i не влияют на величины осевых составляющих, но изменяют остальные компоненты.

Наиболее универсальным средством изменения опорных реакций является выбор фаз движения Δ_i . Влияние выбора фаз обычно прослеживают, представляя исследуемую функцию рядом Фурье вида:

$$F_s(\varphi + \Delta_i) = \frac{1}{2} F_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_{ks} \cos k(\varphi + \Delta_i) B_{ks} \sin k(\varphi + \Delta_i)) \quad (4)$$

где F_0, A_{ks}, B_{ks} — коэффициенты ряда, k — порядок гармоники.

Соответствующий выбор фаз Δ_i может быть использован для взаимной компенсации основных гармонических составляющих уравниваемой функции. Такой способ используется в механизмах многоцилиндровых машин [5]. Он может быть применен и в механизмах аксиально-поршневых насосов, гидромоторов, двигателей внутреннего сгорания с вращающимся блоком цилиндров или с качающейся шайбой.

Уравнения (2) - (4) позволяют найти условия самоуравновешенности отдельных составляющих динамических реакций приравниванием нулю подобных слагаемых сумм (3).

При всех $\Delta_i = 0$ для самоуравновешивания необходимо, чтобы число регулярных механизмов было равно числу симметричных $q=m$, а также

$$\sum_{j=1}^p \cos \gamma_j = 0, \quad \sum_{j=1}^p \sin \gamma_j = 0, \quad \sum_{i=1}^p a_i \cos \gamma_i = 0, \quad \sum_{i=1}^p a_i \sin \gamma_i = 0, \quad p=q, m \quad (5)$$

При этом неустранимая остаточная неуравновешенность, малая в сравнении с исходной, составляет $M_x^{ocm} = d \sum_{i=1}^n R_{xi}^{ocm}$ и может привести к некоторой раскачке остова машины вокруг коленчатого вала.

Если с достаточной для практики точностью можно ограничиться устранением какой-либо основной k -й гармонической составляющей реакции, то условие ее уравниваемости имеют вид

$$\sum_{j=1}^p (\cos \gamma_j \sin k\Delta_j) = 0, \quad \sum_{j=1}^p (\cos \gamma_j \cos k\Delta_j) = 0, \quad \sum_{j=1}^p (\sin \gamma_j \sin k\Delta_j) = 0,$$

$$\sum_{j=1}^p (\sin \gamma_j \cos k\Delta_j) = 0, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^p (a_i \cos k\Delta_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^p (a_i \sin k\Delta_i) = 0, \quad (7)$$

где $p=q, m$, т. е. суммы (6) составлены отдельно для симметричных и отдельно для регулярных механизмов.

Полученные условия самоуравновешивания позволяют синтезировать систему пространственных механизмов с заданной остаточной неуравновешенностью. Для этого необходимо по результатам силового анализа отдельного механизма выявить либо направление наибольших динамических реакций (например, при основных осевых реакциях целесообразно использовать симметричные механизмы), либо гармоническим анализом определить порядок основной гармонической составляющей функции опорных реакций, а затем по формулам (5)–(7) установить число, взаимное расположение и сдвиг фаз кривошипов механизмов системы так, чтобы устранить эти наиболее значимые компоненты динамического давления на опору.

Литература.

1. Гаппоев Т. Т. Особенности уравнивания пространственных механизмов/ Гаппоев Т. Т. // Балансировка машин и приборов.- М.: Машиностроение, 1979.- 294 с.
2. Табуев Д. Б. Уравнивание сил и моментов сил инерции в пространственных механизмах: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук.-Тбилиси, 1983.-15 с.
3. Белоновская И.Д. Построение самоуравновешенных систем пространственных механизмов / Белоновская И.Д., Диментберг Ф. М., Майсюк Л. Б.- М.:Машиноведение, 1987. -№ 1.- С. 3-7.
4. Щепетильников В. Л. Уравнивание механизмов/ Щепетильников В. Л.-М.: Машиностроение, 1982.- 256 с.
5. Мудров П. Г. Пространственные механизмы с вращательными парами./ Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976.- 265 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ, НАПЛАВКЕ И НАПЫЛЕНИИ (ОБЗОР)

А.С. Лукашов, аспирант, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., М.А. Кузнецов

Юргинский технологический институт (филиал) Национальный исследовательский

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Тел. (38451)-5-09-06, e-mail: Jlexa555@bk.ru

С наступлением XXI столетия стали невероятно быстро развиваться нанотехнологии и наноматериалы, используемые в наиболее важных областях человеческой деятельности, во всех передовых странах планеты. Количество научных публикаций по тематике, связанной с наноразмерными материалами, скорость внедрения фундаментальных и поисковых разработок, анализ роста денежных вложений в данную сферу демонстрируют весомое значение нанотехнологий и наноматериалов, которые, судя по всему, в ближайшее десятилетие будут являться одним из основных факторов оборонного, научного, экономического развития государств. Долю научных статей, приходящихся на публикации, затрагивающие тему наноматериалов и нанотехнологий, весьма затруднительно определить, в связи с тем, что по данной проблематике только за несколько последних лет опубликовано около 15-25 тысяч статей, что является достаточно показательным фактом [1].

Одним из основных потребителей нанодисперсных материалов является машиностроение, в котором ведется внедрение технологий нанесения износостойких покрытий, уделяется внимание наноструктурированной продукции и оборудованию для обработки деталей с нанометровой точностью. При этом улучшение качественных показателей может быть достигнуто как посредством введения наноразмерных добавок при осуществлении конкретного техпроцесса, так и за счет соответствующих режимов [2].

Так в работе [3] рассмотрены различные способы введения наноразмерных частиц карбидов вольфрама в металл, наплавленный с использованием электродугового и электрошлакового процессов. Установлено, что поверхностный слой покрытия электродов, размещающий в себе карбиды, является наиболее эффективным введением нанодисперсных карбидов вольфрама в сварочную ванну. Исследовались такие процессы как дуговая наплавка неплавящимся электродом в гелии с подачей стержней с покрытием и порошковой проволоки, электрошлаковая наплавка, при которой использовались экспериментальная порошковая проволока и флюс АНФ-6. При этом выявлено, что нанодисперсные карбиды вольфрама, не растворяясь в сварочной ванне, минуя высокотемпературную область реакционной зоны, перемещаются в наплавленный металл, тем самым модифицируют его рутитовыми электродами в процессе сварки. Используя тугоплавкие наноразмерные порошки, микропорошки железа, никеля и других металлов с определенным количеством наночастиц в химических соединениях, можно более эффективно воздействовать в процессе сварки и наплавки на структуру и свойства металла [3].

Целью работы [4] являлось исследование влияния введенных в покрытие сварочных электродов микрогранул никеля, содержащих нанодисперсные частицы монокарбида WC, на структуру, ударную вязкость и твердость низкоуглеродистого наплавленного металла. Установлено, что введение в основное покрытие сварочных электродов композиционных микрогранул никеля, содержащих нанодисперсный монокарбид WC, является эффективным способом модифицирования низкоуглеродистого наплавленного металла. Содержание в покрытии электрода микрогранул Ni + WC (около 3 %

его массы) обеспечивает повышение ударной вязкости металла сварного шва по сравнению с образцами, сваренными стандартными электродами УОНИ – 13/45.

В работе [5] Еремин Е.Н. применяет электрошлаковую сварку комбинированным электродом с модифицированием металла шва дисперсными частицами карбонитрида титана. Полученные результаты свидетельствуют о широких технологических и металлургических возможностях инокулирующего модифицирования при электрошлаковой сварке комбинированным электродом в производстве изделий ответственного назначения из жаропрочных сплавов. Применение разработанной технологии сварки позволяет существенно экономить ресурсы за счет повышения качества и увеличения весовой точности кольцевых заготовок из жаропрочных сплавов в авиационном двигателестроении.

В статье [6] о модифицировании среднехромистого наплавленного металла приведены результаты исследований влияния редкоземельных металлов на структуру и свойства металла. Показано, что роль добавок редкоземельных металлов проявляется в повышении технологической прочности, ударной вязкости и сопротивлении термоусталостному разрушению металла, применяемого для наплавки валков горячей прокатки. Эффект достигается за счет связывания серы в тугоплавкие мелкодисперсные соединения и устранения слоистости при ее распределении, снижения микрохимической неоднородности, измельчения аустенитного зерна. При этом уменьшается также загрязненность металла шва неметаллическими включениями.

В работах Паршина С.Г. [7 – 9] приводится описание применения ультрадисперсных частиц активирующих флюсов и наноструктурированных электродных материалов. Целью работ было повышение производительности процесса сварки, улучшение характеристик капельного перехода и качества сварных соединений стали. Выявлено, что ультрадисперсные флюсы являются эффективным способом управления энергетическими свойствами электрической дуги, улучшения капельного перехода электродного металла и качества сварных соединений [7]. А применение разработанных наноструктурированных электродных проволок с микрокомпозиционными покрытиями из частиц галогенидов в металлической матрице позволило разработать технологию форсированной MIG – сварки сталей с увеличением производительности процесса сварки до 68,5 %. Сварные швы, выполненные по новой технологии, имели хорошее стабильное формирование при глубоком проплавлении листового проката, в том числе в критическом и суперкритическом режимах при высоких плотностях тока [8].

В работе [9] приведены результаты исследования влияния ультрадисперсных активирующих флюсов на свойства сварочной дуги и формирование сварных соединений при сварке постоянным и переменным током. Применение таких флюсов позволило получить узкие сварные швы при сварке пластин без скола кромок за один проход. Сварные швы имели благоприятную мелкозернистую микроструктуру с хорошим формированием корневого шва. Ширина ЗТВ при сварке сталей уменьшилась на 25 – 50 %. Сварные соединения, выполненные с активирующим флюсом, имели высокую пластичность и прочность.

В работах Сапожкова С.Б. и Макарова С.В. [10 - 12] рассмотрена технологическая схема изготовления электродов для ручной дуговой сварки. Описан способ введения нанопорошка в сварочную ванну через покрытие электродов. При этом нанопорошок сложного состава добавляется в покрытие на стадии производства электродов в жидкое стекло с применением механо-активаторной установки кавитационного типа. Также приведены механические свойства и химический состав металла сварного шва, выполненного электродами с применением нанодисперсных порошков неорганических материалов. Анализ экспериментальных данных показал, что структура металла шва, выполненного экспериментальными электродами более однородная, чем после сварки серийными электродами.

Большое внимание уделяют разработкам в области сварочного производства Князьков К.В., Радченко М.В., Смирнов А.Н. и их соавторы научных публикаций. В работах [13-17] рассмотрено введение в расплав нанодисперсных частиц с помощью плазменно-порошковой наплавки. Исследования показали, что введение модификатора в порошковую смесь привело к значительным изменениям: к измельчению структуры материала, к снижению величины внутренних напряжений и скалярной плотности дислокаций. Эти изменения рассматриваются как факторы, способствующие повышению износостойкости наплавленных покрытий.

В работе по исследованию покрытий [18], полученных плазменно-порошковой наплавкой и влияния модификатора на структуру, поля внутренних напряжений и фазовый состав покрытий установлено, что введение модификатора привело к измельчению структуры материала, образованию в карбидной подсистеме карбида W_2C и борида Fe_3Ni_3B , снижению величины внутренних напряжений и скалярной плотности дислокации.

Износостойкие газотермические покрытия рассмотрены в работе [19]. Данные покрытия получены напылением газовой горелкой «Mogul-9», самофлюсующегося порошка ПГСР-4 с модифицирующими добавками ультрадисперсных шпинелей, получаемых в процессе плазмохимического синтеза. Испытаниями на износ и профилометрическими измерениями установлено, что ультрадисперсные добавки покрытия и материал контртел существенно влияют на профили контактных поверхностей трения.

Для получения защитного покрытия также применяют газопламенную наплавку, позволяющую использовать как один из составляющих порошковой смеси наноразмерный порошок с высокой степенью твердости, который имеет большое значение в возможности образования тугоплавких высокотвердых структур. К таким нанопорошкам относятся карбид вольфрама, вольфрамокобальтовый карбид, карбид хрома, которые будут значительно увеличивать износостойкость покрытия, подвергнутого наплавке, за счет получения высокопрочных, твердых структур. Проведенные исследования [20] показали, что порошковый сплав, включающий в себя наноструктурированные компоненты демонстрирует более высокие характеристики в сравнении с порошком того же состава, но не содержащего в себе наноразмерных частиц. Помимо этого, новое покрытие также обладает более однородной структурой, что приводит к ее более рациональной работе на истирание. Следует отметить, что при наплавке защитных покрытий применение нанопорошков позволяет создавать такие покрытия, которые имеют эксплуатационные характеристики выше по сравнению с покрытиями, при изготовлении которых применялись порошки с крупной фракцией [20].

В последнее время, с развитием нанотехнологий, появилась возможность модифицирования металла шва сварного соединения наноразмерными тугоплавкими частицами. Одним из перспективных способов введения наноразмерных модификаторов может стать предварительная засыпка композиционных гранул в зазор между свариваемыми поверхностями, по аналогии с применением порошкообразного присадочного материала при сварке под слоем флюса. Преимуществом такого способа введения модифицирующих компонентов является исключение непосредственного контакта композиционных гранул и высокотемпературной зоны дуги. При этом наноразмерные частицы подвергаются воздействию расплавленного металла сварочной ванны, что защищает их от непосредственного действия дугового разряда. Применение предварительной засыпки композиционных гранул в разделку не требует создания специально легированной проволоки, что является экономически целесообразным. Выявлено, что при добавлении композиционных гранул размер зерна наплавленного металла уменьшается, а структура является более равномерной. Введение в расплав наноразмерных частиц приводит к увеличению значений ударной вязкости при температуре -20°C на 21%. Следует отметить, что образцы с введением порошка никеля имеют значения ударной вязкости меньше на 58% [21].

Еще одна публикация [22] посвящена исследованию в области создания новых составов керамических флюсов, с использованием которых можно не только управлять металлургическими процессами, но и легировать металл. Целью работы являлось исследование влияния введенных во флюс наноразмерных тугоплавких частиц на структуру низкоуглеродистого металла шва и его ударную вязкость при температуре -60°C . Материалом, транспортирующим нанопорошок, служил порошок никеля с размером частиц до 50 мкм, в который внедрен карбид вольфрама. Композиционные микрогранулы никеля содержали до 30 масс. % частиц WC. Также в качестве легирующей части керамического флюса использовали порошки ферромарганца и электролитического никеля. Итак, введение в состав керамического флюса композиционных микрогранул Ni+WC в количестве до 1,5 масс. % способствует модифицированию структуры низкоуглеродистого металла сварного шва, что приводит к повышению в 2 раза его ударной вязкости при температуре -60°C .

Работа [23] Коберника Н.В. и др., направленная на раскрытие влияния наноразмерных частиц на кристаллизацию сварочной ванны в неравновесных условиях процесса автоматической дуговой сваркой под флюсом двумя проволочными электродами, показала, что значения ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах увеличивается на 21 – 24 %, за счет введения композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы, а набор морфологических форм структурно-фазовых составляющих металла шва не претерпевает существенных изменений при введении в зону сварки композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы карбида вольфрама.

Одним из актуальных вопросов современного машиностроения является исследование влияния ультрадисперсных карбидов на свойства теплоустойчивого наплавленного металла. Ультрадисперсные карбидные композиции предполагалось использовать в шихте порошковых проволок, которые применяются при наплавке инструментов для горячей обработки металлов давлением и обеспечивают

получение наплавленного металла типа теплостойких штамповых сталей. Испытания на термостойкость наплавленного металла свидетельствуют о том, что использование в шихте порошковых проволок ультрадисперсных карбидных композиций повышает термическую стойкость наплавленного металла — увеличивается количество циклов нагрев-охлаждение до появления и развития сетки трещин разгара. Испытания на изнашивание при трении скольжения металла по металлу при повышенной температуре показали, что износ металла, наплавленного порошковыми проволоками с опытной шихтой, меньше, чем в случае использования проволок со стандартной шихтой [24].

В публикации [25] Литвиненко-Арькова В.Б. было исследовано влияние нанопорошка карбонитрида титана TiCN, вводимого в состав шихты порошковых проволок, на структуру наплавленного металла и его свойства. Для наплавки использовали порошковые проволоки с диаметром 2,6 мм и коэффициентом заполнения шихтой 46–47 %, которые изготавливали по известной технологии. Для получения наплавленного металла, легированного азотом в состав шихты проволок внедряли порошок азотированного хрома. Выявлено, что при введении 0,2–0,5 масс.% нанодисперсного порошка TiCN в шихту проволок происходит 2,0–2,5 кратное измельчение зерна, содержание наноразмерных и микродисперсных частиц TiCN в металле, подвергнутому наплавке, обеспечивает стойкость к пластической деформации при высоких температурах (750–950 °С).

В работе [26] рассмотрено влияние алюминия на пористость и свойства износостойкого сплава, наплавленного самозащитной порошковой проволокой ПП-АН160. Исследована трещиностойкость и пористость низколегированного углеродистого сплава при наплавке самозащитной порошковой проволокой. Установлено, что легирование наплавленного металла более 0,7 мас.% алюминия приводит к увеличению в нем количества мартенситной фазы и снижению его стойкости против образования трещин. Показано, что максимальная твердость наплавленного металла при незначительном снижении его трещиностойкости может быть достигнута при содержании 0,5 - 0,7 мас.% алюминия.

В публикации [27], авторами которой являются Klimpel A. и Kik C., выявлено процентное содержание наноструктурированных депозитов, при котором достигаются максимальные качественные показатели, изучено влияние химического состава порошковой проволоки на твердость и износостойкость. Показана актуальность внедрения наноразмерных частиц в состав проволоки, которая используется для наплавки как новых, так и изношенных деталей машин.

На данный момент также существует ряд разработанных сварочных материалов – запатентованных порошковых проволок [28-31], в шихте которых содержится наноразмерный порошок. Так Еремин Е.Н. и соавторы [28-29] использовали ультрадисперсный порошок карбида кремния для электрошлаковой наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа. Разработкой Омского государственного технического университета стала порошковая проволока, в шихте которой содержатся феррованадий, карбид бора, диборид титана и другие компоненты, позволяющая повысить стойкость деталей и оборудования, работающих в условиях интенсивного износа при повышенных температурах с ударными нагрузками. Японские ученые [30] запатентовали проволоку, в флюсовой сердцевине которой содержатся оксид алюминия, оксид титана и другие компоненты, обеспечивающую предотвращение образования трещин при сварке оцинкованных стальных листов. Литвиненко-Арьков В.Б. с соавторами [31] ввели в шихту ультрадисперсный порошок карбонитрида титана и кремнефтористого натрия, что позволило повысить на 30% термостойкость и жаростойкость наплавленного металла.

Вывод.

Проведенный обзор литературы, содержащей информацию о применении нанодисперсных порошков в сварочном производстве, продемонстрировал немалое количество технологий внедрения нанопорошков в металл шва. Каждая научная публикация, рассмотренная в данной работе, описывает свой уникальный способ сварки, оказывающий, как правило, положительный эффект на эксплуатационные свойства металла, но в то же время имеющий ряд свойственных недостатков, связанных как с технологическими особенностями, так и с техническими. Обобщенный результат проанализированных исследований [3-33] показал, что введение наноразмерных материалов демонстрирует измельчение структуры, обеспечивает стойкость к пластическому деформированию, повышает термостойкость, износостойкость, а также равномерней распределяет легирующие элементы.

Одним из направлений использования нанопорошков неорганических материалов является создание самозащитной порошковой проволоки. При разработке порошковой самозащитной проволоки, содержащей нанопорошки, особое внимание следует уделять легкому зажиганию дуги и стабильному ее горению, снижению потерь электродного металла на угар и разбрызгивание. Именно эти аспекты яв-

ляются отрицательной стороной применения самозащитной порошковой проволоки, особенно при производстве трубопроводного транспорта различного назначения. В связи с чем становится актуальной работа по созданию технологии дуговой сварки самозащитной порошковой проволокой, в основе которой будет лежать проволока, содержащая нанопорошки неорганических материалов сложного состава.

Литература.

1. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения // Учебное пособие Москва, 2007. – 125с.
2. Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // Ритм. 2010. №8. С.16-21.
3. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама // Физика и химия обработки материалов. 2009. №6. С.41-47.
4. Соколов Г.Н., Трошков А.С. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла // Сварка и диагностика. 2011. №3. С.36-38.
5. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов // Омский научный вестник. 2009. №3. С.63-67.
6. Степанов К.К., Матвиенко В.Н., Олдаковский А.И. Модифицирование среднехромистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2011. №8. С.12-14.
7. Паршин С.Г. Применение ультрадисперсных частиц активирующих флюсов с целью повышения производительности MIG/MAG - сварки сталей // Сварочное производство. 2011. №6. С.16-21.
8. Паршин С.Г. MIG – сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов // Сварочное производство. 2011. №10. С.27-31.
9. Паршин С.Г. Повышение производительности WIG – сварки сталей и алюминиевых сплавов при введении ультрадисперсных частиц активирующих флюсов // Сварочное производство. 2012. №3. С.7-11.
10. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Use of complex nanopowder (Al_2O_3 , Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding // World Applied Sciences Journal 22 (Special Issue on Techniques and Technologies). 2013. P. 87-90.
11. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Production of electrodes for manual arc welding using nanodisperse materials // World Applied Sciences Journal. 2014. 29 (6). P. 720-723.
12. Makarov S.V., Gnedash E.V., Ostanin V.V Comparative characteristics of standard welding electrodes and welding electrodes with the addition of nanopowders // Life Science Journal. 2014. Volume 11. P. 414-417
13. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами Al_2O_3 . Часть 1 – материалы, методы исследований и роль химических элементов // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №4. С. 106-111.
14. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC и в покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами Al_2O_3 . Часть 2 – фазовый состав исследованных покрытий // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №5. С. 87-91.
15. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC и в покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами Al_2O_3 . Часть 3 – структура, фазовое состояние и поля внутренних напряжений в исследованных образцах // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №6. С. 75-79.
16. Князьков К.В., Радченко М.В. Исследование структурно – фазового состояния износостойких наплавов на основе карбида вольфрама, модифицированного нанодисперсными частицами Al_2O_3 // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 1-3.
17. Князьков К.В., Радченко М.В. Исследование износостойкости упрочняющих покрытий системы Ni-Cr-B-Fe/WC, модифицированных нанодисперсными частицами Al_2O_3 // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 13-15.

18. Смирнов А.Н., Князьков В.Л., Радченко М.В. Влияние нанодисперсных частиц Al_2O_3 на структурно-фазовое состояние покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC, полученных плазменно-порошковой наплавкой // Сварка и диагностика. 2012. №5. С.32-37.
19. Лебедев Д.И., Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф. Исследование контактной поверхности износостойких газотермических покрытий с ультрадисперсными добавками при трении скольжении со стальным контртелом // Современные научные технологии. 2014. №1. С.42-45.
20. Ледников Е.А., Радченко М.В. Применение ультрадисперсных порошковых частиц для увеличения ресурса работы деталей, изготавливаемых и восстанавливаемых с применением метода сверхзвуковой газопорошковой наплавки // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 6-8.
21. Линник А.А., Коберник Н.В. Легирование металла шва порошковыми присадками на основе карбида вольфрама при сварке под флюсом // Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая научная весна 2013: Машиностроительные технологии.
22. Трошков А.С., Соколов Г.Н., Сычева С.С., Лысак В.И. Структура и свойства низкоуглеродистого металла, наплавленного под керамическим флюсом, содержащим композиционные микрогранулы Ni-нанодисперсный WC // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.187-190.
23. Коберник Н.В., Михеев Р.С., Панкратов А.С., Линник А.А. Модифицирование наплавленного металла наноразмерными частицами карбида вольфрама с целью повышения эксплуатационных свойств сварных соединений // Инженерный вестник. 2013. №4. С. 9-12.
24. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Влияние ультрадисперсных карбидов в порошковых проволоках на свойства теплоустойчивого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2009. №6. С.13-15.
25. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Кязымов Ф.А. Структура и свойства термостойкого металла, наплавленного порошковыми проволоками с наночастицами TiCN // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.194-197.
26. Кривчиков С.Ю. Влияние добавок алюминия в порошковую проволоку на свойства высокоуглеродистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2012. №5. С.38-39.
27. Klimpel A., Kik T. Erosion and abrasion wear resistance of GMA wire surfaced nanostructural deposits // Archives of Materials Science and Engineering. 2008. №2. P.121-124.
28. Еремин Е.Н., Лосев А.С., Филиппов Ю.О. Еремин А.Е. Порошковая проволока // Патент 2350448 С2. 2007.
29. Лосев А.С., Еремин Е.Н., Мухин В.Ф. Порошковая проволока // Патент 2429957 С1. 2010.
30. Мизумото М., Кодама С., Асаи К. Порошковая проволока // Патент 2413600 С2. 2007.
31. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Лысак В.И. Порошковая проволока // Патент 2478030 С1. 2011.
32. Nickl A. An alternate to cobalt base hard-facing alloys // Journal of metals. 1980. № 3. P. 6-12.
33. Liu C.T. Ni₃Al aluminide alloys // Structural Intermetallics. Ed. Darolia R. et al. The Miner., Met and Mater. Soc., 1993. P.365 -377.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИАМИДА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

*Нгуен Суан Тьук**, асп., *С.В. Панин* **, д.т.н., проф., *Л.А. Корниенко* *, к.ф.-м.н.

* *Национальный исследовательский Томский политехнический институт*
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

** *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*
634021, г. Томск пр. Академический, 2/4

E-mail: nxthuc1986@gmail.com, bsyp@ispms.tsc.ru, crosmc@ispms.tsc.ru

Введение

Важной технологической задачей при разработке антифрикционных композитов на основе сверхвысокомолекулярной СВМПЭ-матрицы является поиск совместимых полимерных наполнителей (эластифицирующих добавок) для кратного повышения его триботехнических характеристик [1-3] при одновременном повышении технологичности (экструдированности) смесей. В работах [4-6] авторы исследовали полимер-полимерные композиции на основе СВМПЭ с полиэтиленом и полипро-

пиленом, межфазная связь между полимерными компонентами смеси в которых обеспечивалась наличием а) сшитого полиэтилена (ПЭ-С), а также б) линейного полиэтилена низкой плотности (ПП-б-ЛПЭНП) и в) полиэтилена высокой плотности (ПЭВП-б-ЭВА) в составе вводимого блок-сополимера. Проведена оценка вклада этих промышленно выпускаемых процессинговых добавок на технологические свойства (в частности, экструзируемость) композитов (нано- и микро) на основе СВМПЭ. В частности в [4] показано, что композиция СВМПЭ+ПП-б-ЛПЭНП обладает повышенной износостойкостью при сухом трении скольжения за счет локализации деформационных процессов в частицах ПП-б-ЛПЭНП, армированных частицами СВМПЭ, а также эффективного скольжения контртела по СВМПЭ-матрице. Эффект повышения сопротивления изнашиванию связывали с более высокой температурой плавления ПП (на $\sim 30^\circ\text{C}$ выше, чем у ПЭ и СВМПЭ). При этом локализация деформации в пределах этих частиц не приводила к локальному расплавлению на поверхности трения, что задерживало микроадгезионный износ.

В настоящей работе исследованы структура, механические и триботехнические характеристики полимер-полимерных композиций СВМПЭ+n вес.% ПА-б-ЛПЭНП в режиме сухого трения скольжения. Проведено сравнение различных полимерных наполнителей для выбора оптимальных компонент смеси с целью увеличения технологичности СВМПЭ.

Материал и методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн, а также блок-сополимер полиамида с линейным полиэтиленом производства ООО «Новые полимерные технологии» (ПА-б-ЛПЭНП). Порошок блок-сополимера был приготовлен из гранул путем механического помола, в результате чего порошинки имели несферическую форму: длина 50-300 мкм, диаметр 50 мкм. Объемные образцы полимерных композитов получали компрессионным спеканием при давлении 10 МПа и температуре 200°C со скоростью последующего охлаждения $3-4^\circ\text{C}/\text{мин}$. Перемешивание порошков полимерного связующего СВМПЭ и наполнителей (блок-сополимера ПА-б-ЛПЭНП) проводили в планетарной шаровой мельнице MP/0,5*4 с предварительным диспергированием компонент в ультразвуковой ванне. Экструзию смесей для оценки удельного давления экструдирования проводили на плунжерном (поршневом) лабораторном экструдере UE-MSL (Extrusion Machine Sales Ltd, UK) с диаметром выходной фильеры 4 мм.

Износостойкость образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке пару образцов, закрепленных в держателе, 160 Н и частоте вращения вала 100 об/мин на машине трения СМТ-1 в соответствии с ASTM G99 и DIN 50324. Размер образцов равнялся $7*7*10\text{ мм}^3$. Диаметр контртела, выполненного из стали ШХ15, составлял 62 мм. Шероховатость поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo New View 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «Rhino Sceros 3.0» путем ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчета с использованием методов обработки изображений.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены физико-механические свойства чистого СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что предел прочности и удлинение СВМПЭ незначительно изменяются с увеличением содержания блок-сополимера в полимер-полимерной композиции вплоть до 20 вес.%. При этом удельное давление экструдирования P , МПа (пропорциональное показателю текучести расплава) заметно снижается при увеличении доли полимерного наполнителя ПА-б-ЛПЭНП (с 4,67 МПа до 3,12 МПа). На рис. 1 представлены оптические изображения, характеризующие морфологию разрушенных образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что наполнитель полностью совместим с матрицей.

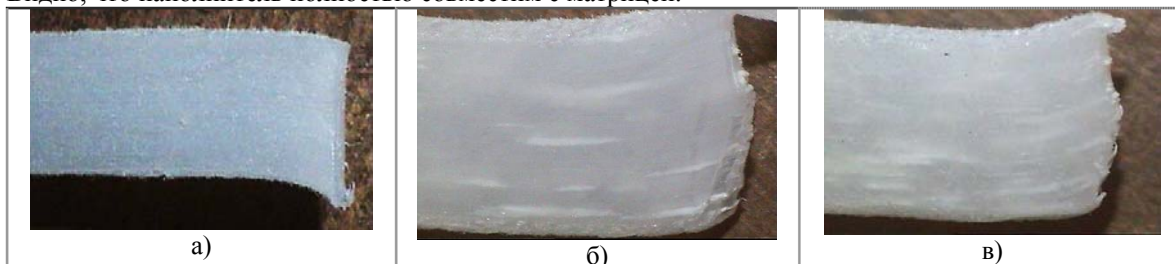


Рис. 1. Морфология разрушенных образцов СВМПЭ (а) и композиций СВМПЭ с 5 (б), 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (с)

В результате удлинения образцов на несколько сот процентов изначально близкие к сферической форме порошинки ПА-б-ЛПЭНП вытянулись совместно с матрицей и приняли форму волокон. Данный результат хорошо согласуется с данными растяжения композита СВМПЭ+ЛПЭНП-б-ПП [4]. Коэффициент трения при наполнении СВМПЭ совместимым сополимером изменяется также не существенно (см. табл. 1).

Таблица 1

Механические и триботехнические свойства СВМПЭ
и композиций СВМПЭ + n вес. % ПА-б-ЛПЭНП

Содержание наполнителя, вес.% ПА-б-ЛПЭНП	Плотность г/см ³	Твердость по Шору <i>D</i>	Предел прочн. σ_B , [МПа]	Удлин. ϵ , %	Крист χ , %	Коэф. трения <i>f</i>	Удельное давл. экстр. <i>P</i> , МПа
0	0,930	57,45	32,3	485,0	56,5	0,12	4,67
3	0,944	54,25	28,7	483,6	45,7	0,11	4,41
5	0,943	55,35	28,9	488,3	45,1	0,11	4,02
10	0,945	54,12	29,6	485,6	35,8	0,13	3,87
20	0,946	53,77	29,1	507,0	30,8	0,14	3,12

На рис. 2 приведены кинетические кривые изнашивания полимер-полимерных композиций, из которых следует, что износостойкость композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП повышается при наполнении матрицы до 5 вес.% сополимера, а затем постепенно снижается. Это более наглядно иллюстрирует диаграмма, представленная на рис. 3. Видно, что наибольшей износостойкостью характеризуется композиция СВМПЭ+5 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (в 1,7 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ, столбцы 1 и 4). Минимальной износостойкостью обладает образец, доли наполнителя в котором максимальна – 20 вес.% (в 2,5 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ).

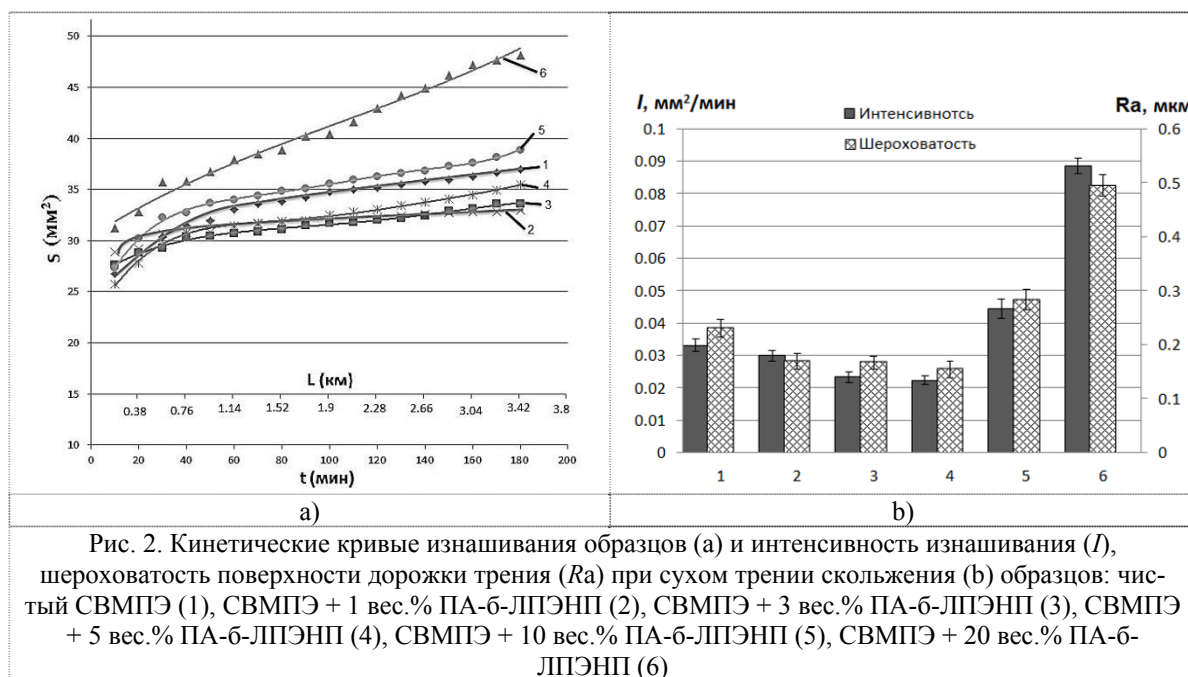


Рис. 2. Кинетические кривые изнашивания образцов (а) и интенсивность изнашивания (I), шероховатость поверхности дорожки трения (Ra) при сухом трении скольжения (б) образцов: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 1 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (2), СВМПЭ + 3 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (3), СВМПЭ + 5 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (4), СВМПЭ + 10 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (5), СВМПЭ + 20 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (6)

Для выяснения механизма износа композиций СВМПЭ+ПА-б-ЛПЭНП исследованы поверхности трения и надмолекулярная структура образцов указанных композиций. На рис. 3(а-б) приведены микрофотографии поверхностей дорожек трения на стадии установившегося износа образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ с ПА-б-ЛПЭНП (5 вес.%). Данные измерения шероховатости поверхностей износа всех исследованных в работе композиций (Ra) представлены на рис. 2, б. Видно, что величина шероховатости для композиций с различным содержанием полимерного наполнителя полностью коррелирует с данными об интенсивности изнашивания.

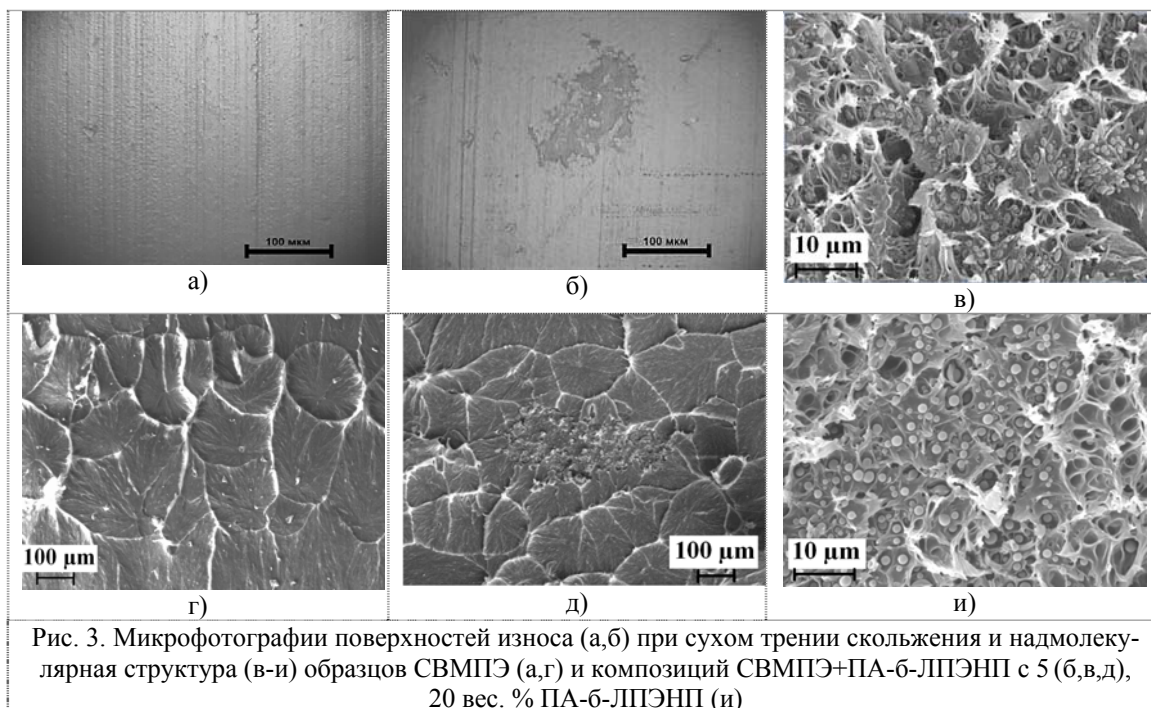


Рис. 3. Микрофотографии поверхностей износа (а,б) при сухом трении скольжения и надмолекулярная структура (в-и) образцов СВМПЭ (а,г) и композиций СВМПЭ+ПА-б-ЛПЭНП с 5 (б,в,д), 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (и)

При внимательно рассмотрении на поверхности трения образцов чистого СВМПЭ отчетливо видны микроборозды, что свидетельствует о микроадгезионной компоненте в характере их изнашивания (рис. 3,а). Последующее добавление в смесь сополимера не сопровождается существенными изменениями в морфологии поверхности трения (при содержании наполнителя не более 10 вес.% - см. рис. 3,б). Видимо по этой причине износостойкость чистого СВМПЭ и композиций на его основе является сопоставимой.

Важно отметить наблюдаемый характер распределения наполнителя. После кристаллизации образцы сохраняют сферолитную структуру (характерную для чистого СВМПЭ – рис. 3,г). Однако частицы наполнителя остаются изолированными, хотя и хорошо совместимыми с СВМПЭ-матрицей, поскольку граница раздела между ними не является ярко выраженной. Характер сформированной надмолекулярной структуры композита наиболее вероятно обусловлен заметным различием в температуре плавления компонент полимерной смеси (рис. 3, д).

Другой важной структурной особенностью композитов является «вмораживание» порошинок СВМПЭ в частицы наполнителя (рис. 3 в,и). При большом увеличении РЭМ видно, что они имеют округлую форму; это связано с воздействием высокой температуры при спекании (рис. 3,и). Однако при последующей кристаллизации частички обретают округлую форму и каждая из них располагается в своеобразной ячейке. Подобная же картина наблюдалась для композитов СВМПЭ+ЛПЭНП-б-ПП [4].

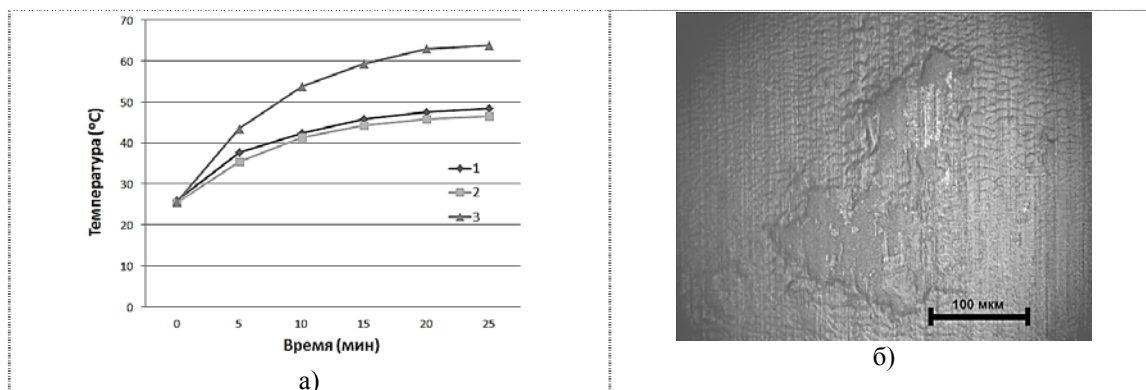


Рис. 4. Изменение температуры поверхности образцов СВМПЭ (1), СВМПЭ+5 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (2), СВМПЭ+20 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (3) при сухом трении скольжения и поверхность образца СВМПЭ+20 вес.%ПА-б-ЛПЭНП после испытаний на сухое трение (б)

На рис. 4 приведены графики, характеризующие изменение температуры контртела (и образцов) по мере их испытаний. Видно, что для чистого СВМПЭ и композита, содержащего 5 вес.% ПА-б-ЛПЭНП, температура меняется идентичным образом. В случае же содержания полимерного наполнителя 20 вес.% температура повышается примерно на 20°C. Это не может не сопровождаться дополнительным нагревом образцов. На рис. 4,б видно, что область, примыкающая к частице наполнителя, расплавляется и гофрирует. Именно это и должно являться причиной резкого снижения сопротивления изнашиванию композита, в состав которого входит компонент ПА, обладающий температурой плавления существенно выше, чем СВМПЭ-матрица.

В работе проведен сравнительный анализ исследованного полимерного наполнителя ПА-б-ЛПЭНП для увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ с другими ранее исследованными авторами - полипропиленом и полиэтиленом [4-6]. Анализ механических и триботехнических характеристик показал, что наиболее близким по свойствам наполнителем является блок-сополимер полипропилена и линейного полиэтилена низкой плотности (ПП-б-ЛПЭНП). Оба блок-сополимера обеспечивают хорошую адгезионную связь полимер-полимерной композиции и формирование упорядоченной высококристаллической сферолитной надмолекулярной структуры при наполнении СВМПЭ блок-сополимерами до 5 вес.%. При большем содержании блок-сополимеров нарушается сферолитная упорядоченная надмолекулярная структура, что влечет за собой увеличение интенсивности изнашивания полимер-полимерных композиций. При этом блок-сополимер ПП-б-ЛПЭНП более предпочтителен в качестве наполнителя с позиций увеличения экструдированности (удельное давление экструдирования $P=3,56$ против 4,02 МПа). С другой стороны блок-сополимер ПА-б-ЛПЭНП более эффективен с точки зрения сохранения механических свойств матрицы (прочность, удлинение) при одновременном повышении экструдированности полимерной смеси.

Из проведенного анализа следует, что для получения удовлетворительной технологичности композитов на основе СВМПЭ (нано- и микро) необходимо подобрать полимерный наполнитель, обеспечивающий формирование равномерной упорядоченной надмолекулярной структуры полимер-полимерных композиций для создания в последующем на их основе композитов с заданными эксплуатационными свойствами. Из исследованных нами полимер-полимерных композиций этому условию в равной степени удовлетворяют промышленно выпускаемые блок-сополимеры ПА-б-ЛПЭНП и ПП-б-ЛПЭНП.

Заключение

Механические свойства образцов полимерной смеси СВМПЭ+ n вес. % ПА-б-ЛПЭНП (прочность, удлинение) слабо изменяются по сравнению с чистым СВМПЭ при значительном увеличении показателя текучести (снижении удельного давления экструдирования). Введением 5 вес.% блок-сополимера ПА-б-ЛПЭНП удалось повысить износостойкость полимер-полимерной композиции в 1,7 раза за счет модификации надмолекулярной структуры исходной полимерной матрицы, включая «вмораживание» порошинок СВМПЭ в частицы полимерного наполнителя. Механизм повышения износостойкости подобен таковому для образцов смеси СВМПЭ+ПП-б-ЛПЭНП. Показано, что при высокой степени наполнения СВМПЭ частицами ПА-б-ЛПЭНП наблюдается дополнительный нагрев пары трения, в результате чего интенсифицируются процессы плавления и износостойкость снижается более чем в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ.

Анализ различных наполнителей с целью увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ и композитов на его основе позволяет рекомендовать промышленно выпускаемые блок-сополимеры ПА-б-ЛПЭНП и ПП-б-ЛПЭНП как равнозначные наполнители, обеспечивающие повышение технологичности композитов (нано- и микро) на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для различных условий эксплуатации.

Литература.

1. Myshkin N.K., Petrokovets M.I., Kovalev A.V. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear and mass-transfer // Tribology International. – 2005 (38), 910-921.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебн. пособие/ Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др., под ред. А.А. Берлина.- СПб.: Профессия, 2008.- 560 с.
3. Steven M. Kurtz. The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. Academic press, – 2004, 379 p.
4. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько. Триботехнические характеристики нанокомпозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного поли-

- этилена (СВМПЭ) с полипропиленом (ПП). Часть 2. Трение и износ нанокompозитов на основе СВМПЭ – ПП-6-ЛПЭНП. Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, № 5, с.70-76.
5. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько, В.М. Орлов. Трение и износ нанокompозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с полиэтиленом (ПЭ). Часть 1. Механические и триботехнические свойства нанокompозитов на основе СВМПЭ – (ПЭ-С). Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №8, С.42-48.
 6. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько, В.М. Орлов. Трение и износ нанокompозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с полиэтиленом (ПЭ). Часть 2. Механические и триботехнические свойства нанокompозитов на основе СВМПЭ – (ПЭВП-6-ЭВА). Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №9, С. 38-44.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСКИСЛЕНИЯ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЛЬСОВ

*Н.А. Козырев**, д.т.н., проф., *А.А. Уманский**, к.т.н., доц., *Д.В. Бойков***, к.т.н.

**Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42 тел. (3843) 46-35-02*

***ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»*

654043, г. Новокузнецк, ш. Космическое, 16, тел. (3843) 46-35-02

E-mail: umanskii@bk.ru

В настоящее время одной из наиболее значимых проблем, стоящих перед предприятиями – производителями железнодорожного проката, является повышение эксплуатационной стойкости железнодорожных рельсов до уровня 1,5 млрд. т брутто. При этом результаты проведенных в последние годы исследований ВНИИЖТ и ИМЕТ РАН им. Байкова [1-3] свидетельствуют, что наиболее негативное влияние на стойкость рельсов в пути оказывает загрязненность стали хрупкоразрушенными оксидными включениями, в частности алюминатами кальция (рисунок 1). Наличие скопления таких включений приводит к образованию контактно-усталостных дефектов в процессе эксплуатации рельсов.



Рис. 1. Алюминаты кальция в рельсовой электростали производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Образование контактно-усталостных дефектов происходит по следующей схеме (рисунок 2): в начальный момент возникает продольная наклонная трещина, развитие которой приводит к отслоению металла – выкрашиванию металла на боковой выкружке головки (рисунок 2 а); затем данный дефект преобразуется в поперечные трещины (в виде светлых или темных пятен) и изломов на них (рисунок 2 б).



Рис. 2. Схема образования контактно-усталостных дефектов железнодорожных рельсов:
а) начальный этап; б) конечный этап

В связи с резко негативным влиянием указанных неметаллических включений на стойкость рельсов действующей нормативной документацией, распространяющейся на производство рельсового проката различных категорий, предусмотрена жесткая регламентация не только общего содержания кислорода в стали (не более 20 ppm), но и кислорода, связанного в хрупкоразрушенные оксидные включения (не более 10 ppm).

Статистическими исследованиями, проведенными на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», установлено, что для гарантированного выполнения вышеуказанного требования стандартов по концентрации кислорода, связанного в хрупкоразрушенные оксидные включения (не более 10 ppm) необходимо достичь общей концентрации кислорода на уровне не более 12-13 ppm. При этом действующая в настоящее время технология обеспечивает среднее содержание общего кислорода на уровне 14 ppm и до 20 % плавок имеют данный показатель выше указанного уровня. Следует отметить, что существующий уровень содержания общего кислорода в рельсах достигнут за счет внедрения комплекса технических и технологических мероприятий по совершенствованию технологических режимов выплавки, раскисления, внепечной обработки и вакуумирования рельсовой стали. Так за период с 2005 г. содержание общего кислорода в рельсах снижено более чем в 2 раза (рисунок 3). Однако при этом для выполнения требований стандартов необходимо дальнейшее снижение содержания кислорода.

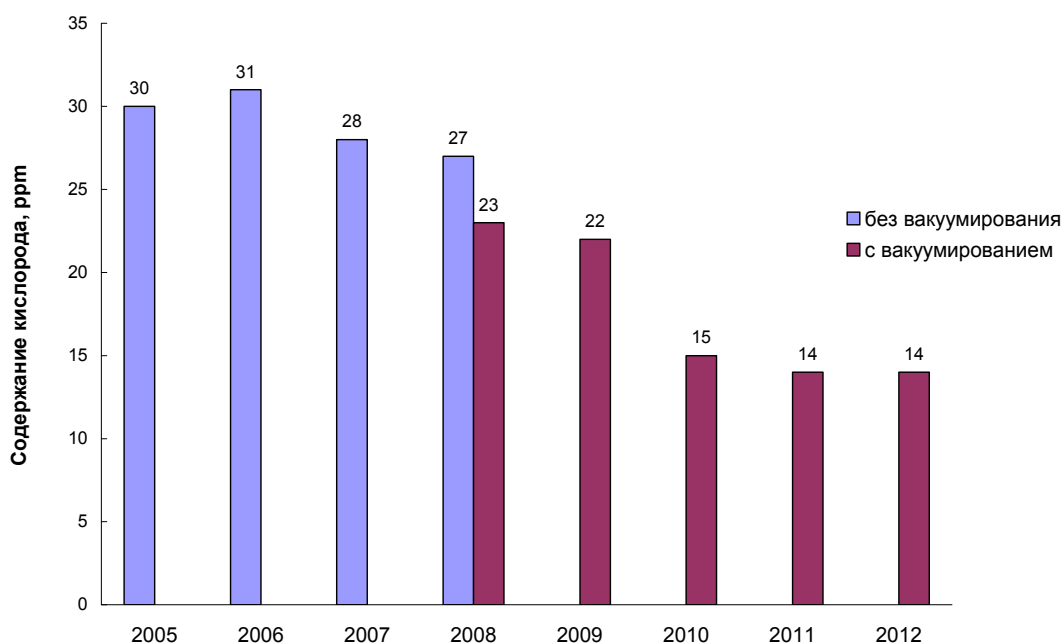


Рис. 3. Динамика изменения содержания кислорода в рельсовой стали на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

С целью определения характера и степени влияния технологических параметров производства и обработки стали на содержание общего кислорода в рельсовом прокате в условиях электростале-плавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» [4] выполнено исследование, объектом которого явилась случайная выборка из 190 плавок рельсовой стали марки Э76Ф текущего производства.

В настоящее время технология производства рельсовой стали в электростале-плавильном цехе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» включает в себя следующие стадии: выплавка в дуговых сталеплавильных печах емкостью 100 т каждая; внепечная обработка на агрегатах «ковш-печь» (АКП) и вакуумматоре камерного типа; разливка на блюмовой МНЛЗ.

При проведении исследования анализировали влияние следующих технологических параметров на содержание общего кислорода в рельсовом прокате:

- содержание углерода в стали перед выпуском из печи;
- содержание кремния в стали в первой пробе на АКП;
- расход коксовой мелочи при раскислении стали на выпуске;
- расход силикомарганца при раскислении стали на выпуске;
- продолжительность продувки инертным газом при обработке на АКП;
- продолжительность обработки стали на вакууматоре.

Использовали методику парного регрессионного анализа.

Проведенным анализом установлено значимое влияние на содержание общего кислорода в металле длительности продувки металла на установке «ковш-печь». По полученным данным при увеличении длительности продувки стали на АКП наблюдается снижение концентрации общего кислорода в металле (рисунок 4).

Полученная зависимость объясняется следующим образом. При продувке стали в ковше инертными газами происходит перенос неметаллических включений в жидкий шлак газовыми пузырями с последующей ассимиляцией включений шлаком. Известно, что процесс переноса включений пузырьками газа обусловлен общим свойством не смачиваемых жидкостью твердых частиц прилипать к находящимся в жидкости пузырькам газа – флотацией.

С точки зрения термодинамики процесса перехода неметаллических включений из металла в шлак лимитирующим звеном, определяющим эффективность очистки стали от включений, является стадия отрыва их от границы металл-шлак. Переход неметаллических включений с межфазной границы в шлак сопровождается повышением энергии Гиббса в системе металл-включение-шлак и поэтому является термодинамически невозможным. Однако в реальных условиях этот процесс протекает за счет действия различных факторов кинетического характера. Поэтому для повышения эффективности удаления неметаллических включений из стали необходимо осуществлять интенсивное обновление слоев шлака, приграничных к металлу, за счет кинетических факторов, в частности, продувки металла инертным газом. Таким образом, снижение содержание общего кислорода в стали при увеличении длительности продувки на АКП достигается за счет снижения содержания кислорода, связанного в неметаллические включения (хрупкоразрушенные оксиды).

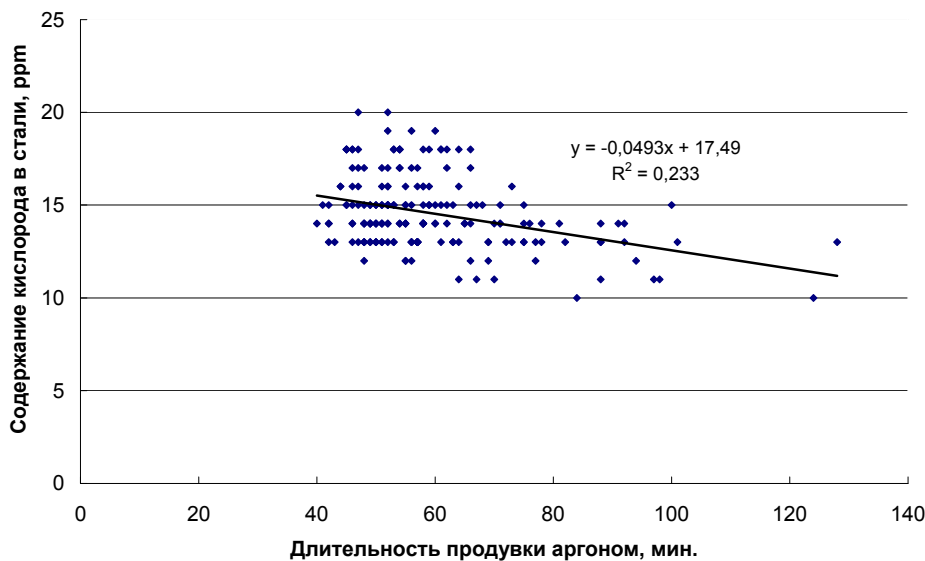


Рис. 4. Влияние длительности продувки аргоном на содержание кислорода в рельсах

Отсутствие взаимосвязи между содержанием кислорода в стали и параметрами, характеризующими окисленность расплава (содержание углерода на выпуске из печи и содержание кремния в первой ковшевой пробе на АКП) обусловлено используемым порядком присадки раскислителей. В настоящее время присадка коксовой мелочи осуществляют после присадки силикомарганца, то есть в раскисленный металл. Отсутствие зависимости содержания кислорода в стали от основности шлака в процессе обработки на АКП обусловлено достаточно узким интервалом изменения значений данного параметра.

Для анализа изменения технико-экономических показателей производства стали при использовании новой технологии внепечной обработки проведена серия из 15 опытных плавок, на которых продолжительность продувки составляла не менее 100 мин. В качестве базы для сравнительного анализа использованы 19 плавок текущего производства, произведенных в этот же период.

По полученным данным (таблица 1) увеличение средней длительности продувки металла на агрегате «ковш-печь» с 63 мин. до 122 мин. привело к увеличению удельного расхода электроэнергии на АКП в среднем на 27,3 кВт×ч/т (с 64,9 кВт×ч/т до 92,2 кВт×ч/т стали).

Таблица 1

Анализ изменения технико-экономических показателей
при использовании технологии с увеличенной длительностью продувки

Наименование показателя	Средние значения показателя	
	опытные плавки (15 плавков)	плавки текущего производства
1. Длительность продувки на АКП, мин.	126,4	63,0
2. Расход аргона на продувку, м3/т	0,46	0,24
3. Температура, 0С: в начале обработки на АКП	1549	1545
в конце обработки на АКП	1620	1620
4. Удельный расход электроэнергии на АКП, кВт·час/т	92,2	64,9
5. Расход феррованадия азотированного, кг/т	1,44	1,44
6. Содержание общего кислорода в рельсовом прокате, ppm	12	14
7. Содержание кислорода, связанного в хрупкоразрушенные неметаллические включения, в рельсовом прокате, ppm	8	10
8. Длина строчки хрупкоразрушенных оксидных включений, мм	0,008	0,012

Удельный расход аргона при этом увеличился на 0,32 м3/т (с 0,24 м3/т до 0,46 м3/т). При этом содержание общего кислорода и кислорода, связанного в хрупкоразрушенные неметаллические включения, в рельсах, полученных из стали опытных плавков, ниже на 2 ppm по сравнению с рельсами от плавков текущего производства. Длина строчек неметаллических включений на рельсах, полученных из стали опытных плавков, ниже на 0,004 мм.

Также был проведен анализ влияния новой технологии с увеличенной длительностью продувки инертным газом на АКП на механические свойства рельсов после прокатки (до закалки). В результате установлено (таблица 2), что рельсы, полученные из стали опытных плавков, имеют лучшие показатели по сравнению с рельсами, полученными от плавков текущего производства (более высокие значения таких показателей, как предел прочности, предел текучести, относительное сужение, относительное удлинение, твердость).

Таблица 2

Анализ влияния новой технологии внепечной обработки стали
на механические свойства рельсов после прокатки (до закалки)

Наименование показателя	Средние значения показателя		Требования для категории В (не менее)
	опытные плавки (15 плавков)	плавки текущего производства	
1. Предел текучести (σ_T), Н/мм ²	700	620	-
2. Предел прочности (σ_B), Н/мм ²	1150	1130	1111
3. Относительное удлинение (δ), %	11,5	10,5	8,1
4. Относительное сужение, %	18,3	14,5	-
5. Твердость, НВ	339	333	-

Таким образом, установлено, что использование новой технологии с увеличенной длительностью продувки на АКП позволяет снизить концентрацию кислорода, связанного в хрупкоразрушенные оксидные неметаллические включения, в рельсах до уровня в соответствии с требованиями стандартов и, при этом повысить механические свойства рельсов после прокатки. Однако, при этом повышается себестоимость производства стали за счет увеличения расхода аргона и электроэнергии.

На втором этапе исследований провели анализ влияния технологии раскисления рельсовой стали на качество рельсового проката. В настоящее время с целью уменьшения количества хрупкоразрушенных оксидных включений в стали алюминий при раскислении не используется. Однако, некоторое количества алюминия вносится ферросплавами. Поэтому одним из направлений снижения содержания в стали таких хрупкоразрушенных оксидных включений, как алюминаты кальция (рисунок 1) является использование ферросплавов с пониженным содержанием алюминия.

В рамках указанного направления проведена серия опытно-промышленных плавов, при раскислении которых использовался силикомарганец марки FeMnSi30HP производства ОАО «СГМК Ферросплав» взамен традиционно используемого силикомарганца марки MnC18. Химический состав ферросплавов согласно требований ГОСТ 4756-91 представлен в таблице 3.

Таблица 3

Марка ферросплава	Химический состав ферросплавов			
	Массовая доля элементов в сплаве, %			
	Mn	Si	C	P
MnC18	более 65 до 75 включительно	более 15 до 20 включительно	не более 0,35	не более 0,03
FeMnSi30HP	более 57 до 67 включительно	более 28 до 35 включительно	не более 0,10	не более 0,20

Фактическое содержания алюминия в силикомарганце марки FeMnSi30HP, определенное при входном контроле, составило 0,20 %.

С использованием указанного ферросплава провели 5 плавов рельсовой стали марки Э76Ф. Выплавку, внепечную обработку и разливку металла опытных плавов производили в соответствии с требованиями действующей нормативной документации. Для сравнения были выбраны технологические параметры 27 плавов, выплавленных непосредственно до и после проведения опытных плавов.

По результатам проведенного промышленного эксперимента установлено следующее:

1. Среднее содержание алюминия в металле опытных и сравнительных плавов составило 0,0022 % и 0,0029 % соответственно.

2. Среднее содержание кремния в металле опытных плавов перед обработкой на вакууматоре составило 0,319 % против 0,316 % на плавках сравнения;

3. Степень сквозного усвоения углерода и кремния в среднем увеличилась на 4 % и 13 % соответственно, что достигнуто за счет более глубокого раскисления металла в процессе выпуска из печи, обусловленного введением большего количества кремния. Так, на выпуске металла из печи усвоение углерода возросло почти в два раза и составило 49,67 % на опытных плавках против 24,60 % на плавках сравнения. Усвоение кремния увеличилось в 1,1 раза (93,60 % против 88,09 %).

Далее с целью подтверждения полученных результатов и комплексной оценки технико-экономической эффективности использования ферросплава FeMnSi30HP проведена серия опытно-промышленных плавов, в том числе 62 плавки стали марки Э76Ф (категория Т1 – рельсы термоупрочненные) и 19 плавки стали марки Э76Ф (категория НЭ – рельсы низкотемпературной надежности).

Оценка механических свойств рельсов после прокатки (до закалки), полученных при использовании опытной технологии, показала, что служебные характеристики металла соответствуют требованиям ГОСТ Р 51685-2000 и ТУ 0921-118-01124328-2003 и находятся на уровне плавов текущего производства (таблица 4).

Таблица 4

Параметр	Механические свойства горячекатаных рельсов (до закалки)				Твёрдость на поверхности головки, НВ
	Механические свойства при растяжении горячекатаных рельсов				
	σ_T	σ_B	δ	Ψ	
	Н/мм ²		%		
Средние значения на опытных плавках (категория Т1)	601,4	1085,0	11,26	17,04	326,9
Средние значения за 2012 г. (категория Т1)	628,5	1086,8	10,72	17,79	328,3
Средние значения на опытных плавках (категория НЭ)	665,0	1095,0	11,50	17,00	317,0
Средние значения за 2012 г. (категория НЭ)	691,4	1128,6	9,82	15,87	336,8
Требования ГОСТ Р 51685-2000 (не менее)	-	900	5,0	-	-

Расчет экономической эффективности провели исходя из фактически полученного расхода ферросплавов на опытных плавках при текущем уровне цен. Расход ферросплавов при использовании опытной и существующей технологии раскисления рельсовой стали представлен в таблице 5.

Таблица 5

Расход ферросплавов при производстве стали Э76Ф

Наименование ферросплава	Расход ферросплавов, кг/т		Отклонение, кг/т
	опытная техноло- гия	существующая техно- логия	
категория Т1			
Силикомарганец MnC18	0,11	10,13	- 10,02
Ферросилиций ФС65	0,30	2,55	- 2,25
Силикомарганец FeMnSi30HP	12,16	0	+ 12,16
категория НЭ			
Силикомарганец MnC18	0,10	10,28	- 10,18
Ферросилиций ФС65	0,29	2,48	- 2,19
Силикомарганец FeMnSi30HP	11,76	0	+ 11,76

Пониженный расход ферросилиция на опытных плавках получен в связи с тем, что содержание кремния ферросплаве FeMnSi30HP выше по сравнению с силикомарганцем MnC18. Также следует отметить, что применение незначительного количества силикомарганца марки MnC18 на опытных плавках (0,10-0,11 кг/т) было вызвано необходимостью корректировки массовой доли марганца в металле в процессе обработки на установке вакуумирования.

По полученным расчетным данным экономическая эффективность от использования нового ферросплава марки FeMnSi30HP для раскисления рельсовой стали Э76Ф составила: для категории Т1 – 13,99 руб/т стали; для категории НЭ – 32,64 руб/ т стали.

Литература.

1. Дерябин А.А. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали / А.А. Дерябин, А.В. Добужская // Сталь. – 2000. – № 11. – С. 38-43.
2. Дерябин А.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте / А.А. Дерябин, В.А. Рабовский, Е.А. Шур // Сталь. – 2000. – № 11. – С. 82-85.
3. Линчевский Б.В. Влияние раскисления кордовой стали на природу оксидных неметаллических включений / Б.В. Линчевский, С.Н. Варпатрикова, В.Я. Дашевский, В.И. Кашин, Н.Н. Макарова // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 5. – С. 14-18.
4. Козырев Н.А. Исследование и оптимизация технологии производства рельсовой электростали с целью повышения качества рельсового проката и технико-экономических показателей его производства / Н.А. Козырев, А.А. Уманский, Д.В. Бойков // Вестник СибГИУ. 2014. – №3 (9) – С. 11-16.

МЕТОДЫ УЧЕТА НАДЕЖНОСТИ В МЕТОДИКЕ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СБОРНЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Е.В. Артамонов, д.т.н., проф., Д.С. Василега, к.т.н., доц., М.С. Остапенко, к.т.н., доц.

Тюменский государственный нефтегазовый университет

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, телефон/факс: (3452) 41-68-58

E-mail: evgart2014@mail.ru

В ходе разработки методики оценивания качества сборных металлорежущих инструментов [1,2,3] возникла проблема учета свойств надежности. В большинстве случаев в методиках оценивания качества надежность учитывается по тем же правилам, что и остальные показатели, совокупность которых составляет качество. Однако, как показывают исследования многих ученых в области квалиметрии, данный подход принципиально неприемлем по ряду причин.

Во-первых, (к сожалению или к счастью) практически не получается учесть в расчете все свойства, которые определяют надежность. Во-вторых, и это, пожалуй, главное, надежность не нужна сама по себе. Надежность не является целью, она является лишь средством обеспечения проявления тех показателей качества, ради которых продукция (или услуга) создавалась, т. е. показателей функциональности.

В связи с этим, надежность необходимо учитывать не в ряду других показателей качества, а в виде коэффициента надежности (изменяющегося от 0 до 1), который умножается на функцию свертки, с помощью которой, учитываются показатели качества.

В результате реализации экспертных процедур по определению показателей качества сборного металлорежущего инструмента выделены основные показатели надежности, ими являются путь ре-

зания (долговечность) и безотказность. Как доказано в наших предыдущих работах, максимальный путь резания достигается при оптимальном выборе инструментального твердого сплава и режимов резания. Это связано с существенным экстремальным изменением физико-механических характеристик инструментальных и обрабатываемых материалов в зависимости от температуры резания [4]. Следовательно, определяющим в процессе резания является температурный фактор.

На это указывается в работах А.М. Розенберга и А.Н. Еремина, С.С. Силина, А.Д. Макарова, И.С. Праведникова, Е.В. Артамонова [5,6], В.П. Астахова [7].

На основании проведенных нами исследований инструментальных твердых сплавов и процесса резания установлено, что каждый инструментальный твердый сплав имеет свою температуру максимальной работоспособности $\Theta_{м.р.}$, то есть температуру, при которой повышается его способность противостоять нагрузкам, что влечет за собой снижение интенсивности износа и повышение надежности [8]. В рамках реализации методики оценивания качества сборных металлорежущих инструментов, разработана методика определения температуры максимальной работоспособности $\Theta_{м.р.}$ инструментальных

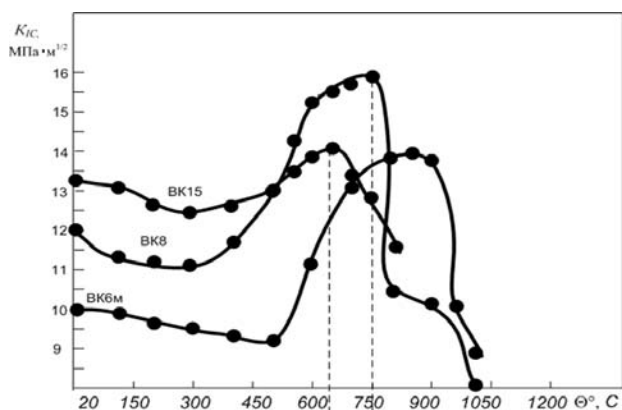


Рис. 1. Способ определения температуры максимальной работоспособности инструмента $\Theta_{м.р.}$ по зависимости коэффициента интенсивности напряжений ИТС (BK6M; BK8; BK15) от температуры

твердых сплавов по температурной зависимости коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} твердого сплава [9]. Возможность определения температуры максимальной работоспособности $\Theta_{м.р.}$ с использованием температурной зависимости коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} связано с тем, что изменения коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} твердых сплавов в зависимости от температуры носят экстремальный характер, что наглядно представлено на рисунке 1.

В предыдущих наших работах доказано, что каждый обрабатываемый материал имеет свою температуру максимальной обрабатываемости $\Theta_{м.о.}$, при которой наблюдаются минимальные нагрузки на инструмент и минимальная шероховатость обработанной поверхности [10].

Разработаны способы определения данной характеристики по температурным зависимостям δ – относительного удлинения; ψ – относительного сужения; α – коэффициента температурного (линейного) расширения; C – удельной теплоемкости материала; λ – коэффициента теплопроводности (теплоемкости материала) (Рисунок 2).

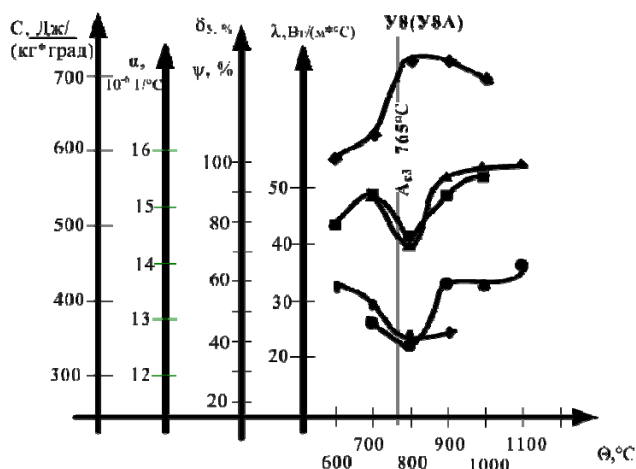


Рис. 2. Способы определения температуры максимальной обрабатываемости $\Theta_{м.о.}$ по зависимости характеристик обрабатываемого материала (сталь У8А) от температуры

Соответственно оптимальные условия обработки как с позиции инструментального, так и с позиции обрабатываемого материалов будут обеспечиваться при совпадении температуры максимальной работоспособности $\Theta_{м.р.}$ инструментального твердого сплава и температуры максимальной обрабатываемости $\Theta_{м.о.}$ материала. Это обеспечивают: правильный выбор инструментального твердого сплава и поддержание необходимой температуры резания (назначение соответствующих режимов).

С целью учета температурной совместимости инструментального твердого сплава и обрабатываемого материала от которой существенно зависят основные показатели надежности металлорежущих инструментов: стойкость (путь резания) и безотказность, в методику оценивания качества сборных инструментов включен коэффициент температурной совместимости $K_{т.с.}$ обрабатываемого материала и инструментального твердого сплава.

Коэффициент температурной совместимости рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{т.с.} = \left(\frac{\Theta_{м.р.}}{\Theta_{м.о.}} \right)^n, \quad (1)$$

где $\Theta_{м.р.}$ – температура максимальной работоспособности инструментального твердого сплава; $\Theta_{м.о.}$ – температура максимальной обрабатываемости материала; $n=3$ при $\Theta_{м.р.} < \Theta_{м.о.}$, $n=-3$ при $\Theta_{м.о.} < \Theta_{м.р.}$.

Основные показатели надежности металлорежущих инструментов: стойкость (путь резания) и безотказность помимо характеристик инструментальных и обрабатываемых материалов во многом определяются геометрическими характеристиками и схемами базирования и крепления режущих пластин.

Влияние данных характеристик на надежность учтено в методике оценивания качества сборных металлорежущих инструментов в виде коэффициента напряженности K_n .

Коэффициент напряженности K_n служит для получения обобщенной оценки надежности конструкции сборного металлорежущего инструмента с позиции интенсивности напряжений, возникающих в режущей пластине.

В результате реализации экспертных процедур определены факторы, оказывающие основное влияние на интенсивность напряжений в режущей пластине:

1. Гарантированный прижим в угловой паз (наличие или отсутствие).
2. Гарантированный прижим по опорной поверхности (наличие или отсутствие).
3. Толщина пластины.
4. Наличие твердосплавной подложки и ее толщина.
5. Угол в плане φ .
6. Угол при вершине ε .

Соответственно, коэффициент напряженности можно представить в следующем виде:

$$K_n = k_{п\varphi} k_{п\theta} k_{т\varphi} k_{т\theta} k_{\varphi} k_{\varepsilon}, \quad (2)$$

где: $k_{п\varphi}$ – коэффициент прижима в угловой паз; $k_{п\theta}$ – коэффициент прижима по опорной поверхности; $k_{т\varphi}$ – коэффициент толщины пластины; $k_{т\theta}$ – коэффициент толщины твердосплавной подложки; k_{φ} – коэффициент угла в плане φ ; k_{ε} – коэффициент угла при вершине ε .

Значения данных коэффициентов в зависимости от различных параметров установлены на основе исследований напряженно-деформированного состояния режущих пластин, проведенных Артамоновым Е.В.

Коэффициент прижима в угловой паз $k_{п\varphi}$ и коэффициент прижима по опорной поверхности $k_{п\theta}$ зависят от схемы базирования и крепления режущей пластины.

Гарантированный прижим в угловой паз приводит к перераспределению и снижению напряжений в режущей пластине. Гарантированный прижим по опорной поверхности обеспечивает снижение напряжений и как следствие деформаций на задней грани инструмента. Значения коэффициентов поджима в угловой паз $k_{п\varphi}$ и прижима по опорной поверхности $k_{п\theta}$ для различных схем базирования и крепления режущих пластин, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты поджима в угловой паз $k_{пу}$ и прижима по опорной поверхности $k_{по}$ в зависимости от схемы базирования и крепления режущей пластины

Схема базирования и крепления пластины					
Система крепления по ISO	C	P	S	M	-
$k_{пу}$	0,56	1,00	1,00	1,00	0,56
$k_{по}$	1,00	0,25	1,00	1,00	0,25

Значения коэффициента угла в плане. k_{ϕ} установлены для наиболее часто используемых углов в плане и представлены в таблице 2. Для круглых пластин угол в плане принят равным 0° .

Таблица 2

Значения коэффициента угла в плане k_{ϕ}

ϕ	0°	45°	60°	75°	90°
k_{ϕ}	1	0,53	0,21	0,13	0,06

Наиболее существенное влияние на напряженно-деформированное состояние режущей пластины оказывает угол при вершине ϵ . В свою очередь угол при вершине ϵ определяется формой пластины.

Как установлено в работах Артамонова Е.В. прочность пластин во многом определяется их формой и существенно зависит от угла при вершине ϵ . (рисунок 3.)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ

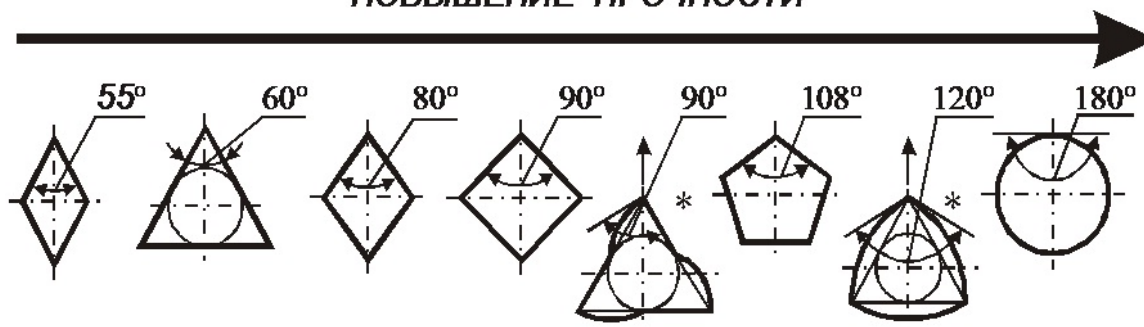


Рис. 3. Повышение прочности режущих пластин в зависимости от формы и угла при вершине ϵ

Значения коэффициента угла при вершине k_{ϵ} установленные для наиболее часто применяемых форм режущих пластин представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициента угла при вершине реза k_{ϵ} в зависимости от форм режущих пластин

k_{ϵ}	0,18	0,20	0,28	0,29	0,30	0,60	0,64	0,68	1,0
ϵ	55°	60°	80°	85°	90°	108°	110°	120°	180°

Распределение напряжений по задней грани существенно зависит от толщины пластины. При недостаточной толщине пластины под действием напряжений, которые возникают в зоне контакта режущей пластины с опорной поверхностью, происходит деформация последней. Во многих источ-

никах толщину пластины связывают с подачей резания соотношением $t=(8...12)S$. При этом прочность пластины не возрастает в случае превышения толщиной данного значения. Существующие исследования по определению влияния толщины СМП на их напряженное состояние хорошо согласуются с данными выводами. Таким образом, при толщине пластины $t=(8...12)S$ коэффициент принимается равным 1, при $t<(8...12)S$ принимается 0,5.

Что касается опорных пластин, то их применение вызвано деформацией опорной зоны корпуса вследствие потери плоскостности под нагрузкой. Это приводит к выходу из строя режущих твердосплавных пластин, в связи с их неспособностью принимать форму деформированной опорной зоны. Это является следствием низкого предела прочности на изгиб твердых сплавов за счет их высокой твердости и хрупкости. При $l/t=1$ деформации и напряжения в державке стремятся к минимальным значениям. Поэтому рекомендуется установка под режущую пластину опорных пластин имеющих толщину $t_1=(0,8...1,1)t$ и выполненных из твердого сплава или закаленных сталей с высокой твердостью, что позволяет свести к минимуму деформации опорной зоны корпуса сборного инструмента. Таким образом, при толщине опорной пластины $t_1=(0,8...1,1)t$ коэффициент принимается равным 1, при $t_1<(0,8...1,1)t$ или отсутствии подложки принимается 0,5.

Выводы

Таким образом, в рамках методики оценивания качества сборных металлорежущих инструментов обоснована необходимость рассматривать надежность в виде коэффициента, состоящего из нескольких составляющих. Выявлено, что существенное влияние на надежность сборных токарных резцов оказывают температурная совместимость инструментального твердого сплава и обрабатываемого материала, а также интенсивность напряжений, возникающих в режущей пластине. С целью учета этих факторов при оценивании качества сборных металлорежущих инструментов обоснована необходимость введения коэффициентов напряженности и температурной совместимости. Разработаны способы определения необходимых характеристик и расчета этих коэффициентов. Разработанные методы учета надежности в рамках методики оценивания качества сборных металлорежущих инструментов может применяться как для существующих, так и для перспективных разрабатываемых инструментов [11,12].

Литература.

1. Ostapenko, M.S. and D.S. Vasilega, 2013. Method of Evaluation of Quality of Metal-Cutting Tool. Applied Mechanics and Materials, #379: 49-55.
2. Artamonov E.V., Ostapenko M.S. and D.S. Vasilega, 2013. Improvement of efficiency of modular tooling systems application based on qualimetric evaluation. World Applied Sciences Journal, Volume 25, Issue 9, 2013, Pages 1275-1279.
3. Сидуленко О.А., Остапенко М.С., Василега Д.С. Квалиметрическая оценка качества металлорежущего инструмента / Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318. № 2. С. 36-39.
4. Takhman, S.I., Bitunov, A.I. On the common trend of temperature dependences of mechanical properties of metals in various groups of the periodic system. Physics of Metals and Metallography 102 (3), pp. 341-346, 2006
5. E.V. Artamonov, D.V. Vasil'ev Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip. Russian Engineering Research. – 2014, Volume 34, Issue 6, pp 404-405.
6. Artamonov, E.V., Vasilega, D.S., Tveryakov, A.M Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates Russian Engineering Research 2014, 34 (6), pp. 402-403
7. Astakhov, V.P. and M.O.M. Osman, 1996. Correlations amongst Process Parameters in Metal Cutting and their Use for Establishing the Optimum Cutting Speed. Journal of Materials Processing Technology, #62: 175-179.
8. Артамонов Е.В., Василега Д.С. Определение температуры максимальной работоспособности инструментальных твердых сплавов / Омский научный вестник. 2008. № 4. С. 53.
9. Артамонов Е.В., Кусков В.Н., Василега Д.С. Способ определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин / патент на изобретение RUS 2373029 09.01.2008
10. Василега Д.С. Повышение работоспособности инструментов оптимизацией по температуре резания / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тюмень, 2009
11. Shalamov, V.G., Savel'ev, D.A., Smetanin, S.D. Producing powder by rotary grinding. Russian Engineering Research 33 (3), pp. 133-135, 2013
12. E.V. Artamonov, V.V. Kireev Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates. Russian Engineering Research July 2014, Volume 34, Issue 7, pp 473-474.

СИНТЕЗ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ КАРБОТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

В.В. Кузнецова, Ю.Л. Крутский, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет

630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

E-mail: kuznecova_vv@inbox.ru

Развитие современной науки требует создания новых материалов, а также повышения качества уже существующих, которые обладают высокими прочностными характеристиками, способны эксплуатироваться при повышенных температурах и устойчивы к воздействию агрессивных сред. К числу таких материалов относится тугоплавкое соединение карбид циркония (ZrC).

Карбид циркония характеризуется такими свойствами как: высокая температура плавления, высокая теплопроводность, высокая твердость, стойкость к абразивному износу, стойкость в агрессивных средах. Эти свойства позволяют применять карбид циркония в промышленности, в твердых сплавах, карбидостаялях, как материал авиационной, ракетной техники, материал электро- и радиотехнического назначения, как абразивный материал, в частности в составе эвтектических жаропрочных сплавов [1].

Существует несколько методов получения карбида циркония: осаждение из газовой фазы, непосредственным насыщением циркония углеродом, а также метод восстановления оксида циркония углеродом с последующим образованием карбида. Из всех существующих методов получения этого соединения наиболее эффективным, легко воспроизводимым и экономичным является последний, протекающий по реакции:



Данная работа посвящена исследованию процесса синтеза карбида циркония карботермическим методом при использовании в качестве восстановителя и карбидообразующего элемента нановолокнистого углерода (НВУ).

Гранулы НВУ образованы плотно переплетенными волокнами с поперечным размером 10-100 нм (средний диаметр 73 нм), его удельная поверхность 117 м²/г, удельная поверхность мезопор 104 м²/г, средний диаметр пор 8,4 нм, удельный объем пор 0.247 см³/г, [2, 3]. Получаемый таким способом углерод достаточно чист: содержащиеся примеси представляют собой остатки исходного катализатора, их содержание не превышает 1%, масс. НВУ является перспективным углеродным материалом для синтеза тугоплавких карбидов.

Следует отметить, что в описанных в литературе способах карботермического получения ZrC в качестве источника углерода использовалась сажа [1,4,5], а даже самая дисперсная сажа имеет удельную поверхность не более 100 м²/г. Актуальность данной работы заключается в том, что использование НВУ в синтезе карбида циркония дает предпосылки к получению чистого и мелкодисперсного вещества в одну стадию без дополнительного измельчения.

Исходная шихта состояла из оксида циркония и НВУ. Гранулы НВУ растирались до порошкообразного состояния, порошок просеивался через сито 100 мкм и смешивался с порошкообразным оксидом циркония.

Шихта для получения карбида циркония готовилась в соответствии со стехиометрией по (1) реакции.

Для определения параметров синтеза выполнен расчет температуры начала восстановления вышеуказанной реакции, с использованием справочных данных.[1] Температура начала восстановления составляет примерно 1940 К (1670 °С). Однако следует принимать во внимание, что процесс карботермического восстановления оксида циркония протекает через образование промежуточных низших оксидов. Низшие оксиды циркония термодинамически более стабильны по сравнению с высшим диоксидом циркония, поэтому для полноты протекания реакции температура должна быть значительно выше 1670 °С.

В экспериментах температура составила 2000, 2100 и 2200 °С, время выдержки при этой температуре во всех экспериментах было 4 часа. Поскольку температура плавления карбида циркония составляет 3803 °С [5], он заведомо должен получаться в порошкообразном состоянии.

Эксперименты по синтезу карбида циркония проводились в печи сопротивления с графитовым трубчатым нагревателем. Шихта массой 50-60 граммов помещалась в графитовые тигли, так как они совместно с нагревателем создают в печном пространстве при температурах синтеза восстановительную атмосферу из азота и монооксида углерода. Время процесса во всех случаях составляло 4 часа.

Оценка степени прохождения реакции проводилась путем взвешивания шихты и продуктов реакции и сопоставления экспериментальных данных с расчетными.

Экспериментальная убыль массы (33,9, 34,5 и 34,4 %) практически совпадает с расчетной (35,2 %), что свидетельствует о практически полном протекании реакции во всем рассматриваемом диапазоне температур.

Продукты синтеза исследовались рентгенофазовым анализом (РФА) на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения ($\lambda = 0,15406$ нм). Рентгенофазовым анализом установлено, что полученный материал во всех экспериментах состоит из одной фазы – карбида циркония.

Анализ образцов на содержание циркония и примесей в полученных образцах выполнен рентгеноспектральным флуоресцентным методом на анализаторе VRA-30 с Cr - анодом рентгеновской трубки.

Определение содержания общего углерода выполнялось по CO_2 сжиганием навески в токе кислорода на анализаторе CS-444 фирмы «LECO». Полученные результаты (например, для образца, синтезированного при 2100°C , содержание циркония равно 87,8 % масс., а углерода 11,8 % масс.) близки к расчетным (88,35 % масс. и 11,35 % масс. соответственно) для чистого карбида циркония. Это свидетельствует о высоком содержании карбида циркония в образцах.

Пикнометрическая плотность образцов определена на гелиевом автоматическом пикнометре «Ultraruspometer 1200e». Она близка к приведенной в справочной литературе ($6,73\text{г}/\text{см}^3$). [1]

Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ).

На снимках РЭМ видно, что материал состоит из частиц размером 2-3 мкм, форма которых близка к сферической; частицы состоят из агрегатов (рисунок 1,2).

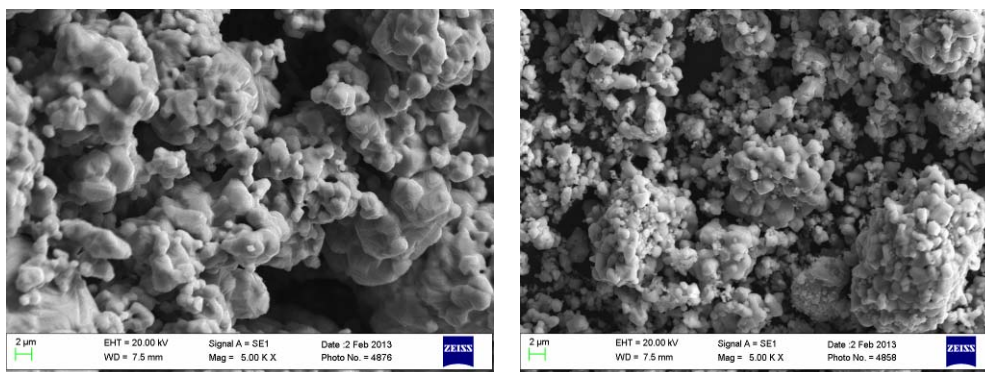


Рис. 1,2 Снимок РЭМ образца карбида циркония

Удельная поверхность и пористость образцов определены методом БЭТ. Для образца, синтезированного при 2000°C , она составила $2,8\text{ м}^2/\text{г}$. Для образцов, полученных при более высоких температурах, она ниже (составляет $1,5\text{ м}^2/\text{г}$ и $1,3\text{ м}^2/\text{г}$ соответственно).

Использование при синтезе карбида циркония НВУ позволило снизить температуру и время процесса по сравнению с промышленным. Полученный материал имеет незначительное содержание примесей и состоит из частиц размером на уровне 2-3 мкм. Вследствие высокой чистоты и дисперсности карбид циркония может быть использован для изготовления керамики.

Литература.

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений /Под ред. Косолаповой Т.Я. М.: Металлургия, 1986. 928 с.;
2. Kuvshinov G.G. Mechanism of porous filamentous carbon granule formation on catalytic hydrocarbon decomposition / G.G. Kuvshinov, Yu.I. Mogilnykh, D.G.Kuvshino, D.Yu.Yermakov, M.A.Yermakova, A.N. Salanov, N.A.Rudina. - Carbon. 1997. V. 37 - 1239-1246 p.
3. Кувшинов Г.Г. Реализация процесса получения гранулированного каталитического волокнистого углерода в масштабе пилотного реактора / Г.Г. Кувшинов, С.Г. Заварухин, Ю.И. Могильных, Д.Г. Кувшинов. - Химическая промышленность. 1998. № 5 - 300-307 с.
4. Косолапова Т.Я. Карбиды. –М.: Металлургия, 1968.- 300с.
5. Самсонов Г. В., Виницкий И.М. Тугоплавкие соединения: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1976. – 560 с.

6. Gruner, W. Formation of Cox species during the carbothermal reduction of oxides of Zr, Si, Ti, Cr, W, and Mo / W. Gruner, S. Stolle, K. Wetzig // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2000. - #18. – P. 137 – 145.
7. Левинский Ю.В. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочник, под ред. Т. Я. Косолаповой, М., 1986;
8. Соловьев Е.А. Получение водорода и нановолокнистого углерода селективным каталитическим пиролизом легких углеводородов. Дис. канд. хим. наук - М., 2008.
9. Kuvshinov G.G. Mechanism of porous filamentous carbon granule formation on catalytic hydrocarbon decomposition / G.G. Kuvshinov, Yu.I. Mogilnykh, D.G.Kuvshino, D.Yu.Yermakov, M.A.Yermakova, A.N. Salanov, N.A.Rudina. - Carbon. 1997. V. 37 - 1239-1246 p.

СБОРНАЯ ЧЕРВЯЧНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШЕСТЕРЕН КПП ПОДЪЕМНИКА ДЛЯ РЕМОНТА СКВАЖИН

*Е.В. Артамонов, д.т.н., проф., В.В. Киреев, к.т.н., доц.
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, телефон/факс: (3452) 41-68-58
E-mail: evgart2014@mail.ru*

В работе машиностроительных предприятий большую роль играет инструментальная оснастка. Одним из важнейших элементов инструментальной оснастки является режущий инструмент [1]. Замена инструмента из быстрорежущей стали на сборный инструмент с использованием сменных многогранных пластин из твердого сплава [2, 3, 4, 5] даёт повышение производительности и в целом эффективности обработки [6, 7, 8, 9].

Коробка перемены передач предназначена для установки на агрегаты АПРС-40, используемые при ремонте скважин, не оборудованных вышечными сооружениями для производства тартальных работ, для чистки песчаных пробок желонкой и для возбуждения скважин поршневанием.

Для анализа процесса фрезерования червячной фрезой было графически промоделировано движение заготовки и червячной фрезы в системе Компас-3D.

За образец для сравнения была принята полнопрофильная червячная фреза (число зубьев на рейке 7, число реек = 8). Параметры нарезаемого цилиндрического зубчатого колеса: модуль 5, число зубьев 30. Подача фрезы осуществлялась вертикально с последующим постепенным врезанием зубьев в заготовку (рисунок 1).

Метод графического имитационного моделирования процесса зубофрезерования заключается в наглядном изображении фрезы в процессе её работы. Это дает нам проследить траекторию движения обработки зубчатого колеса фрезой. В результате этого можно получить пятна контакта. Величина площади пятен контакта покажет нам какие пластины нагружаются больше других. Промоделируем графически процесс зубофрезерования при обкатке инструментальной рейкой и зубчатого колеса в следующей последовательности:

- 1) Чертим окружность равную траектории движения 1-ой пластины при зубофрезеровании;
- 2) Чертим эскиз колеса с обозначением центра колеса;
- 3) Откладываем межцентровое расстояние фреза-колесо;
- 4) Располагаем окружность на расстоянии от центра колеса;
- 5) По высоте располагаем окружность так, чтобы она касалась профиля колеса, но не пересекала его;
- 6) Выбираем подачу на оборот S (мм/об);
- 7) Откладываем величину подачи Sz от центра окружности вниз пока последняя подача не будет в одной плоскости с колесом;
- 8) Начинаем перемещать окружность по вертикали вдоль оси колеса на величину Sz. Таким образом, у нас будет моделироваться процесс подачи фрезы. Чтобы зафиксировать положение окружности при каждом перемещении на подачу Sz, следует в месте пересечения окружности и колеса рисовать вертикальную линию, которая будет отражать величину врезания фрезы в заготовку на одну подачу;
- 9) В результате таких перемещений мы получаются следы, оставленные окружностью на колесе, при врезании на полную глубину канавки зубчатого колеса. Данное положение показывает, что фреза врезалась в колесо полностью. Дальнейшее продвижение фрезы вдоль нарезаемой поверхности колеса будет так же осуществляться за счет подачи, формирующие необходимые для дальнейшего графического построения линии (величины врезания);

10) Далее рассчитывается угловой шаг поворота колеса S_K эта величина характеризует поворот колеса на какой-то угол при врезании в корпус следующей по счету пластины;

$$S_K = \left(\frac{360^\circ}{z} \right) \cdot \frac{N}{n-1}, \quad (1)$$

где z – число зубьев колеса;
 N – число витков фрезы;
 n – число пластин в витке.

В данном случае:

$$S_K = \left(\frac{360^\circ}{30} \right) \cdot \frac{7}{8-1} = 12^\circ$$

11). Подача на зуб рассчитывается по формуле:

$$S_z = \frac{S_\phi}{z_\phi}, \quad (2)$$

где S_ϕ – подача на зуб, мм/об;
 z_ϕ – число зубьев на витке.

В процессе обкатки измерялись площади поперечного сечения срезаемого слоя передней поверхностью каждого зуба, т.к. максимальные нагрузки подобные зубья испытывают при врезании в заготовку. Силы резания при зубофрезеровании зависят от площади данных пятен. По результатам полученных данных о поперечных сечениях срезаемого слоя были построены графики в зависимости величины площадей поперечных сечений срезаемых слоёв от глубины резания (рисунок 3).

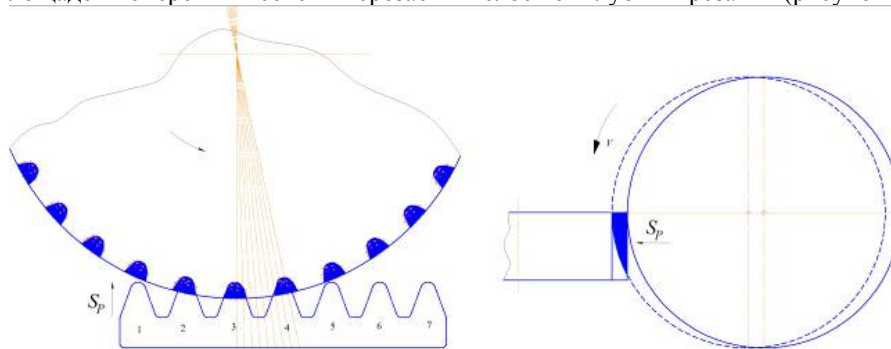


Рис. 1. Имитационное моделирование зубофрезерования при полнопрофильной схеме резания.

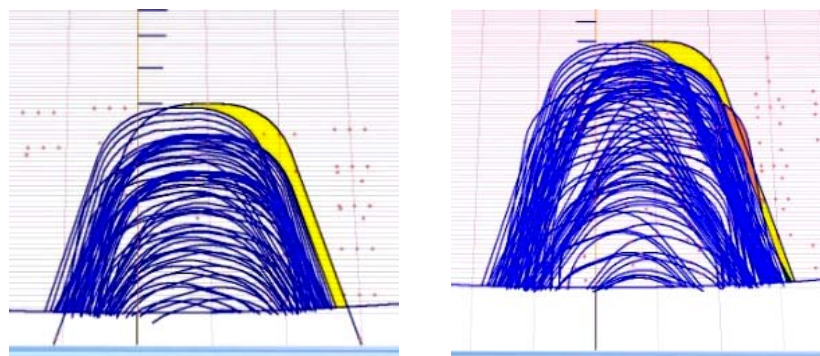


Рис. 2. Фрагменты площадей поперечных сечений срезаемого слоя зубьями при полнопрофильной схеме резания

На рисунке 2 показаны фрагменты имитационного моделирования для полнопрофильной фрезы. Видно, что зуб работает одновременно как верхней, так и боковыми кромками. В результате образуется сложная трёхэлементная форма стружки, которая затрудняет её благоприятный сход.

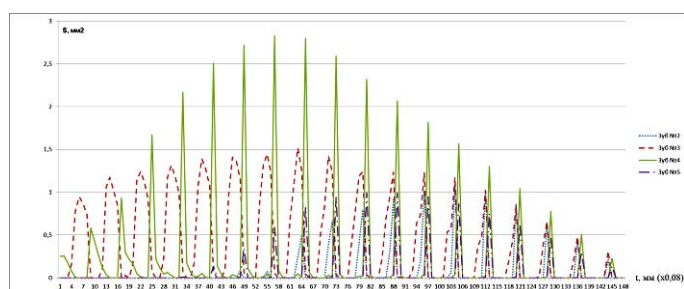


Рис. 3. График загрузки режущих пластин полнопрофильной фрезы

На рисунке 3 показан график изменения площадей поперечных сечений срезаемых слоёв передней поверхностью режущими пластинами сборной червячной фрезы с полнопрофильной схемой резания от вертикального перемещения инструмента, которым пропорциональна нагрузка зубьев фрезы. Из графика видно, что наиболее нагружены зубья №3 и №4. Максимальная площадь поперечного сечения составляет 2.8 мм^2 (зуб №4). Нагрузка зуба №4 достигает максимума в середине зубонарезания. Зуб №3 нагружен более равномерно, максимальная площадь поперечного сечения = 1.5 мм^2 . Зубья №2 и №5 менее нагружены, максимальные площади равны, соответственно, 1 и 1.2 мм^2 .

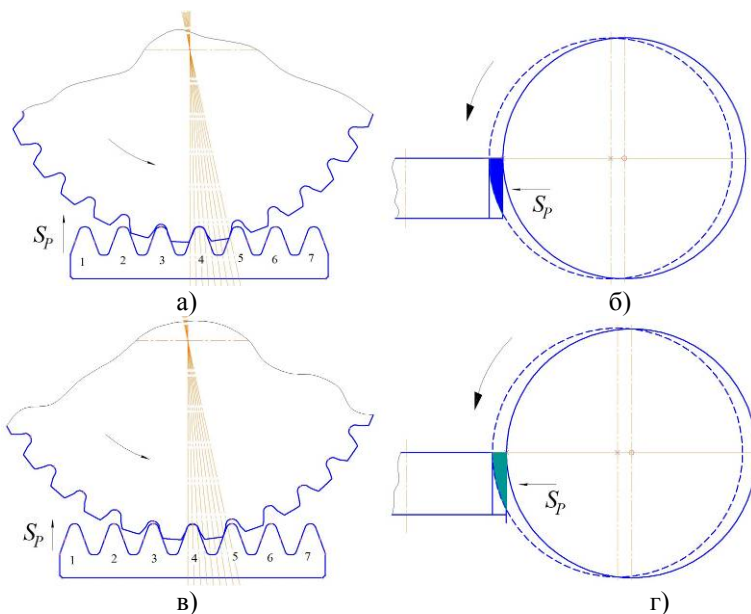


Рис. 4. Имитационное моделирование зубофрезерования при прогрессивной схеме резания. а, б) имитационная модель для завышенного и зауженного исходного контура инструментальной рейки в, г) имитационная модель для заниженного и широкого исходного контура инструментальной рейки

Второе имитационное моделирование было проведено для фрезы с прогрессивной схемы резания (рисунок 4).

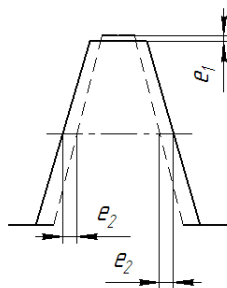


Рис. 5. Величины завышения e_1 и заужения e_2

Рассчитаем геометрию реек прогрессивной фрезы. Прогрессивные зубья отличаются от полнопрофильных на соответствующие величины завышения e_1 и заужения e_2 (рисунок 5). Размеры e_1 и e_2 выбираются в зависимости от модуля, числа зубьев нарезаемого колеса. Номинальное завышение e_1 для однозаходной фрезы с модулем 5 составляет 0.2 мм, номинальное заужение e_2 для этой же рейки равно 0.15 мм. Значения e_1 и e_2 получены на основе теоретических и экспериментальных исследований при зубофрезеровании колёс модуля 2...2.5 фрезами с числом зубьев $z_0 = 12$ и модуля 2.5...10 мм с $z_0 = 10$. При числе зубьев, отличном от этих значений, табличные величины e_1 и e_2 необходимо умножить на поправочный коэффициент K' , который считается по формуле (для фрез с модулем 2.5...10 мм):

$$K' = \frac{10}{z_0}, \quad (3)$$

где z_0 – число зубьев на витке фрезы.

В данном случае:

$$K' = \frac{10}{8} = 1.25$$

В соответствии с поправочным коэффициентом значения e_1 и e_2 будут равны:

$$e_1 = 0.2 \times 1.25 = 0.25(\text{мм})$$

$$e_2 = 0.15 \times 1.25 = 0.1875(\text{мм})$$

Высота зауженных зубьев принимается в соответствии с ГОСТ «Фрезы червячные однозаходные» и будет равна для модуля 5 равной 12,5 мм.

Высота заниженных зубьев будет равна:

$$h = h_b - e_1 \quad (4)$$

$$h = 12.5 - 0.25 = 12.25(\text{мм})$$

Ширина заниженного зуба принимается по стандарту (ГОСТ «Фрезы червячные однозаходные»). Для модуля 5 ширина зуба $S_{n0} = 8.02$ мм.

Ширина завышенных зубьев по делительной окружности будет равна (рисунок 7):

$$S_b = S_n - 2e_2 \quad (5)$$

$$S_b = 8.02 - 2 \cdot 0.1875 = 8.02 - 0.375 = 7.645(\text{мм})$$

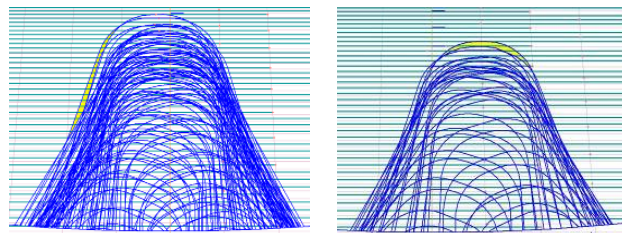


Рис. 6. Фрагменты площадей пятен контакта зубьев при прогрессивной схеме резания

На рисунке 6 представлены фрагменты площадей поперечных сечений срезаемых слоев для прогрессивной фрезы. Имитационное моделирование подтверждает, что при прогрессивной схеме резания режущие элементы работают разными кромками – первый зуб врезается верхней, второй – боковыми. В результате происходит разделение стружки на части, что облегчает её сход, снижает нагрузку на кромку зуба и, как следствие, силы резания.

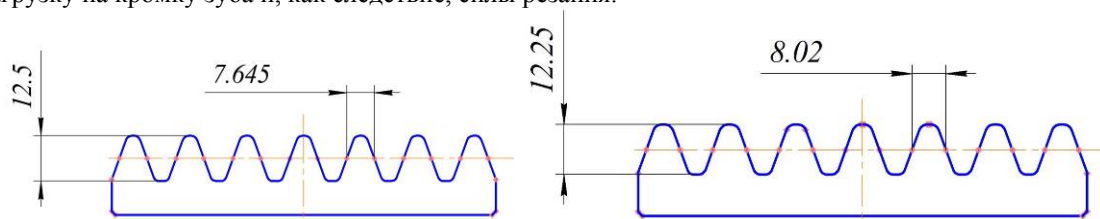


Рис. 7. Геометрия исходных инструментальных реек спроектированной фрезы с прогрессивной схемой резания

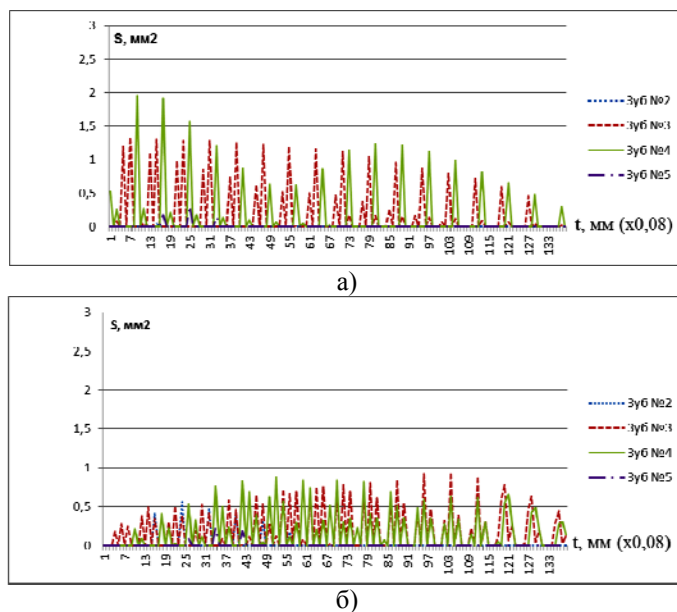


Рис. 8. График загрузки режущих пластин при прогрессивной схеме резания.

- а) Площади поперечного сечения срезаемого слоя передней поверхностью режущих пластин завышенной и зауженной исходной инструментальной рейки
 б) Площади поперечного сечения срезаемого слоя передней поверхностью режущих пластин заниженной и широкой исходной инструментальной рейки

По результатам графика загрузки режущих элементов по передней поверхности исходной инструментальной рейки сборной червячной фрезы с прогрессивной схемой резания (рисунок 8 а, б) видны изменения прогрессивного фрезерования в сравнении с полнопрофильным. Нагрузка на зубья снижена, зубья занужены более равномерно. Максимальная нагрузка на зуб №4 смещается ближе к началу фрезерования (площадь пятна контакта составляет 1.9 мм^2). Максимальная площадь пятна контакта зуба №3 составляет 1.4 мм^2 . Зубья №2 и №5 задействованы меньше, чем в полнопрофильной схеме резания, площади пятен контакта срезаемых слоёв для этих зубьев не превышают 0.4 мм^2 .

По результатам сравнения двух графиков поперечных сечений срезаемых слоёв для полнопрофильной и прогрессивной схемы фрезерования можно сделать следующие выводы:

- 1) При полнопрофильном фрезеровании нагрузка режущих элементов постепенно увеличивается к середине врезания, а затем к концу врезания снижается, то при прогрессивной схеме резания максимальные площади срезаемых слоёв находятся в самом начале резания. При этом нагрузка на режущие элементы при прогрессивной схеме более равномерна, что благоприятно для конструкции инструмента;
- 2) При прогрессивном резании уменьшается площадь поперечного сечения срезаемого слоя в сравнении с полнопрофильным резанием. Максимальная площадь поперечного сечения срезаемого слоя у полнопрофильной фрезы составляет 2.85 мм^2 , у прогрессивной фрезы – 1.9 мм^2 . Уменьшение поперечного сечения (а, соответственно, и нагрузки на зубья) также способствует уменьшению износа режущих кромок зубьев;
- 3) В прогрессивной схеме резания больше задействованы зубья №3 и №4, а зубья №2 и №5 почти не нагружены, в сравнении с полнопрофильной схемой.

Для того, чтобы графически смоделировать процесс зубофрезерования, необходимо правильно расположить в пространстве обрабатываемую заготовку и режущий инструмент.

Далее приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) [10] в сменных твердосплавных пластинах (СТП) сборных червячных фрез с использованием программного пакета ANSYS.

На рисунке 9 представлены полученные картины изолиний напряжений σ_1 для СТП, спроектированные по ГОСТ.

На главных режущих кромках имеются как зоны растяжения, так и зоны сжатия. Концентрация напряжений растяжения наблюдается в зоне перехода от боковой прямолинейной режущей кромки к вершине, так как именно в этой зоне происходит наибольшая стесненность резания. Соот-

ответственно наибольшее разрушение будет происходить именно в этой зоне. Немаловажно, что также в этой зоне будет происходить наибольший износ по задней поверхности.

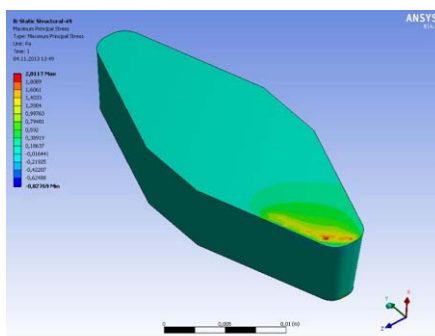


Рис. 9. Картины изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 в СТП полнопрофильной червячной фрезы

На рисунке видно, что напряжения растяжений σ_1 имеют большие величины, независимо от глубины зубофрезерования. Это как раз характеризуется низкой стойкостью инструмента из-за большой стеснённости резания.

На рисунках 10 и 11 показаны полученные картины напряжений СТП для прогрессивной схемы резания. Анализ картин изолиний распределения напряжений σ_1 показал, что напряжения растяжений по передней поверхности СРП снижаются это обуславливается тем, что каждая СТП срезает свою часть материала.

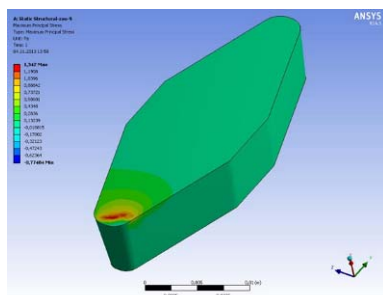


Рис. 10. Картины изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 в СТП завышенной исходной инструментальной рейки

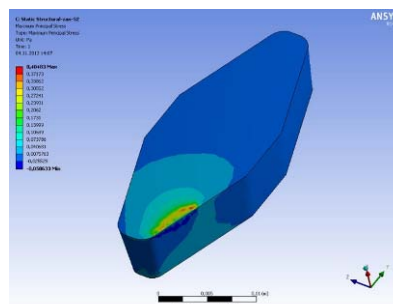


Рис. 11. Картины изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 в СТП зауженной исходной инструментальной рейки

Сначала работает зауженная пластина, которая срезает металл вершиной пластины, а потом работает заниженная СТП которая работает боковыми режущими кромками.

Таким образом, схема зубофрезерования оказывает существенное влияние на распределение напряжений в СТП. Необходимо применять прогрессивную схему зубофрезерования. Качественный и количественный анализ показал, что наилучшие результаты при расчете конечных элементов даёт прогрессивная схема резания.

Выводы:

1. Доказана эффективность прогрессивной схемы резания при зубофрезеровании путем проведения имитационного моделирования;
2. Построены графики зависимости площадей пятен контакта стружки с передней поверхности режущих пластин в зависимости от вертикальной подачи фрезы;
3. Разработана методика исследования напряженно-деформированного состояния режущих пластин используя графическое определение пятна контакта в любой момент зубофрезерования;
4. Спроектированы исходные контуры инструментальных реек двух видов для реализации прогрессивной схемы резания при зубофрезеровании: с завышенным зубом на величину e_1 и зауженным на величину e_2 .

Литература.

1. Liu, W., Ren, D., Usui, S., Wadell, J., Marusich, T.D. A gear cutting predictive model using the finite element method 2013 Source of the Document Procedia CIRP 8, pp. 51-56
2. Ostapenko M.S., Vasilega D.S. Method of evaluation of quality of metal-cutting tool. Applied Mechanics and Materials. 2013. Т. 379. С. 49-55.
3. E.V. Artamonov, D.V. Vasil'ev Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip. Russian Engineering Research. – 2014, Volume 34, Issue 6, pp 404-405
4. E.V. Artamonov, V.V. Kireev Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates. Russian Engineering Research July 2014, Volume 34, Issue 7, pp 473-474.
5. Artamonov, E.V., Vasilega, D.S., Tveryakov, A.M Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates Russian Engineering Research 2014, 34 (6), pp. 402-403
6. S. Steina, M. Lechthaler, S. Krassnitzer, K. Albrechta, A. Schindlerb, M. Arndta Gear hobbing: A contribution to analogy testing and its wear mechanisms 2012 Source of the Document Procedia CIRP 1 (1), pp. 220-225
7. Tokawa, T., Nishimura, Y., Nakamura, Y. High productivity dry hobbing system 2001 Source of the Document Technical Review - Mitsubishi Heavy Industries 38 (1), pp. 27-31
8. Karpuschewski, B., Knoche, H.-J., Hipke, M., Beutner, M. High performance gear hobbing with powder-metallurgical high-speed-steel 2012 Source of the Document Procedia CIRP 1 (1), pp. 196-201
9. Hyatt, G., Piber, M., Chaphalkar, N., Kleinhenz, O., Mori, M. A review of new strategies for gear production 2014 Source of the Document Procedia CIRP 14, pp. 72-76
10. Klocke, F., Brumm, M., Herzhoff, S. Influence of gear design on tool load in bevel gear cutting 2012 Source of the Document Procedia CIRP 1 (1), pp. 66-71

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ БРОНЗЫ
ПГ-19М- 01 НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ
МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ**

*М.А. Кардаполова, к.т.н., доц., Н.И. Луцко, науч. сотр., Е.В. Суханова, ассистент
Белорусский национальный технический университет
220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (37517)-331-00-45
E-mail: scvmed@bntu.by*

Лазерная наплавка - это технология, которая позволяет нанести покрытие из порошка, подаваемого транспортирующим газом в ванну расплава образуемую на поверхности основы лазерным лучом [1-4]. Подача порошка может осуществляться при помощи бокового или коаксиального лазерному лучу ввода. Данная технология может использоваться как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных или поврежденных поверхностей.

Традиционные технологии наплавки, такие как аргонодуговая наплавка присадочной проволокой, полуавтоматическая дуговая проволочная наплавка в углекислом газе и плазменная наплавка, характеризуются большим тепловым воздействием на деталь, приводящим к перекристаллизации и разупрочнению материала основы.

В противоположность этим методам, перенос тепла при лазерной наплавке, в которой используется лазерный луч диаметром от 0,5 до 3 мм, происходит в ограниченной области. Зона теплового воздействия (ЗТВ), в результате, ограничена несколькими миллиметрами. По этой причине зона термических напряжений также невелика, деформации минимальны, а механические характеристики основы практически не изменяются.

Преимущества лазерной наплавки особенно сильно проявляются при объединении последней с компьютерным проектированием (CAD) и компьютерным управлением (CAM), робототехникой, сенсорами и управляющими устройствами, когда появляется возможность производить послойное изготовление деталей завершённой геометрии в течение одноступенчатого процесса [5-7]. Дело в том, что одной из наиболее признанных общих проблем современного производства является время, которое затрачивается на получение технологии, а следовательно конечной продукции. В производстве лимитирующим временем для многих продуктов является время, требующееся для конструирования и изготовления литейных форм и штампов всех типов. Самым обычным делом для больших и сложных штампов является то, что они изготавливаются неделями, месяцами, а иногда почти годами, прежде чем будут готовы для производства продукции. Многие производства в последнее время

ищут устройства, которые могут произвести продукцию непосредственно из чертежа САД с точным воспроизведением сконструированной макро и микроструктуры. Ремонтные производства также нуждаются в методах восстановления, которые не изменят свойств материала и не приведут к уменьшению долговечности продукта. Работы проводимые в Университете Мичигана США (технология direct metal deposition или DMD), в Национальной лаборатории в Сандии США (технология light engineered net shaping или LENS) и в Национальной лаборатории в Лос Аламосе США (технология direct light fabrication или DLF), в Перспективной производственной лаборатории Шеньяна КНР (технология laser metal deposition shaping или LMDS), а также в других научных центрах мира продемонстрировали, что существует возможность изготавливать трехмерные плотные объекты непосредственно из базы данных САД со свойствами эквивалентными процессу пластической деформации, таким образом делая их потенциально возможными для прямого изготовления деталей и штампов [8-14]. Такие технологии, получившие общее название - технологии «быстрого прототипирования», представляют уже значительный интерес, так как позволяют минимизировать себестоимость производства за счет экономии времени изготовления [3].

Исходя из вышесказанного, лазерная наплавка является весьма перспективным методом нанесения покрытий и интересным объектом для исследователей. В силу своей специфики лазерная наплавка, и особенно при использовании ее в технологиях «быстрого прототипирования», предъявляет особые требования к качеству покрытий, которое характеризуется различными параметрами, такими как микроструктура, распределение микротвердости и диффузия.

В данной работе нами предпринята попытка исследовать распределение микротвердости в покрытии из бронзы на различных этапах его формирования от единичных валиков до двухслойной структуры.

Для выполнения исследований применялся лазерный технологический комплекс, включавший газовый CO_2 лазер непрерывного действия типа «Комета 2» с мощностью излучения 1000 Вт и координатную систему, обеспечивавшую необходимое перемещение луча лазера относительно наплавлявшихся образцов.

Наплавка выполнялась на образцы изготовленные из стали 45, имевшие размеры 20x30x8 мм. В качестве наплавочного материала использовался порошок бронзы – ПГ-19М-01, имевший грануляцию 20-80 мкм.

После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки. Затем на полировальном станке изготавливались поперечные шлифы зон наплавки и производился замер микротвердости в направлении перпендикулярном основе (поперечное направление), т.е по глубине слоя.

Измерения микротвердости производились при помощи микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г по линии симметрии валиков из основы к поверхности покрытия с шагом 0,05 мм.

Прежде всего исследовалось распределение микротвердости в наплавленных единичных валиках из бронзы ПГ-19М-01 для разных скоростей наплавки. Результаты приведены на рисунке 1.

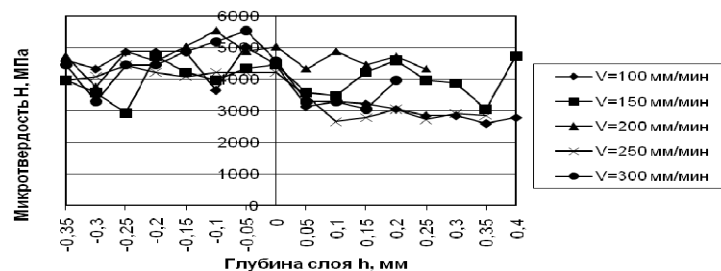


Рис. 1. Зависимость микротвердости H от глубины слоя h при дистанции наплавки 12 мм для бронзы ПГ-19М-01

Анализируя полученные результаты для бронзы ПГ-19М-01 можно отметить следующее:

- микротвердость единичных валиков имеет достаточно равномерную величину по всей глубине валика наплавки для всех скоростей наплавки, отсутствуют большие колебания величины микротвердости;

- перемешивание материалов покрытия и основы достаточно сильное, на границе покрытия и основы имеет место плавное снижение микротвердости на 500...1000 МПа для разных скоростей наплавки, что дает возможность сделать предположение о небольшой величине переходной зоны и малом присутствии материала основы в покрытии, средние значения микротвердости покрытия из бронзы ПГ-19М-01 составляют: 3194 МПа (скорость 100 мм/мин), 3897 МПа (скорость 150 мм/мин), 4803 МПа (скорость 200 мм/мин), 3343 МПа (скорость 250 мм/мин), 3931 МПа (скорость 300 мм/мин);

- наиболее низкая средняя микротвердость наплавленных валиков из бронзы ПГ-19М-01 наблюдается при скорости наплавки 100 мм/мин – 3479 МПа, увеличение скорости наплавки ведет к росту средней микротвердости до 4739 МПа при 200 мм/мин и некоторому снижению ее при 300 мм/мин до 4400 МПа.

Для проведения исследований микротвердости однослойных покрытий производилась лазерная наплавка бронзы ПГ-19М-01 при различных скоростях и шагах наплавки. Результаты измерения микротвердости покрытий в поперечном направлении (по глубине слоя покрытия) представлены на рисунке 2.

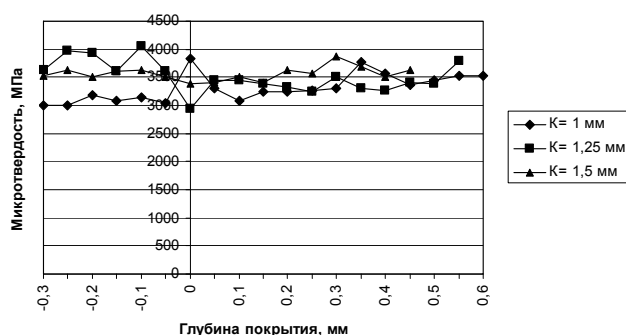


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине слоя покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при скорости наплавки $V = 200$ мм/мин и дистанции наплавки $L = 12$ мм при различных шагах наплавки K

Из графиков распределения микротвердости по глубине однослойного покрытия для бронзы ПГ-19М-01 (рисунок 2) видно, что:

- микротвердость однослойного покрытия имеет достаточно равномерную величину по всей его глубине для всех шагов и скоростей наплавки, большие колебания величины микротвердости отсутствуют;

- переплав материалов покрытия и основы достаточно силен, переходная зона между покрытием и основой большая, микротвердости покрытия и основы находятся на одном уровне, средняя микротвердость однослойного покрытия из бронзы при скорости наплавки 200 мм/мин составляет 3388 МПа (при шаге наплавки 1 мм), 3411 МПа (при шаге наплавки 1,25 мм), 3581 МПа (при шаге наплавки 1,5 мм);

- с увеличением шага наплавки средняя микротвердость покрытия из бронзы ПГ-19М-01 увеличивается, что видимо связано с сильным вторичным переплавом уже наплавленных валиков при наплавке соседних валиков при малом шаге наплавки;

Для проведения исследований микротвердости двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 производилась лазерная наплавка двухслойных покрытий при различных скоростях наплавки. На микрошлифах покрытий производилось измерение микротвердости покрытий по глубине слоя покрытия. Результаты измерения микротвердости покрытий представлены на рисунках 3-5.

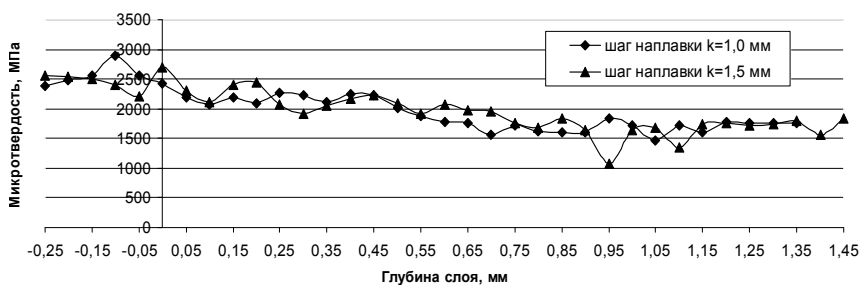


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при скорости наплавки $V = 100/160$ мм/мин

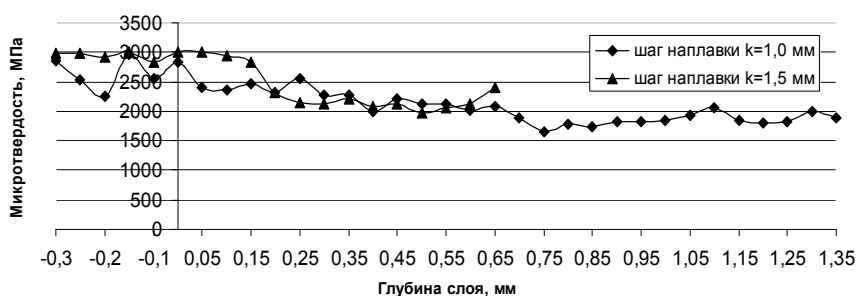


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при скорости наплавки $V = 160/220$ мм/мин

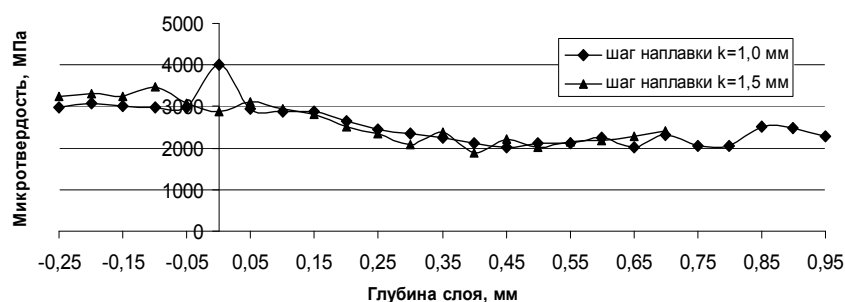


Рис. 5. Распределение микротвердости по глубине двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при скорости наплавки $V = 220/280$ мм/мин

Из графиков распределения микротвердости по глубине двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 (рисунки 3 - 5) видно:

- при всех исследованных скоростях наплавки (первого/второго слоя) на графиках распределения микротвердости можно выделить две зоны микротвердости, в каждой из которых микротвердость распределена достаточно равномерно по глубине каждой зоны без значительных колебаний. Ближе к основе на расстоянии 0,2-0,7 мм от нее для разных скоростей наплавки располагается зона с достаточно высокой микротвердостью материала покрытия (далее по тексту первая зона). На большем удалении от основы располагается зона, микротвердость в которой ниже микротвердости первой зоны приблизительно на 282-476 МПа (далее по тексту вторая зона). Можно сделать предположение, что указанные зоны связаны, соответственно, с первым и вторым слоем покрытия. Кроме того повышенная микротвердость первой зоны скорее всего связана с вторичным переплавом первого слоя покрытия при наплавке второго слоя, когда при вторичном переплаве образуется более плотное покрытие с лучшим сплавлением по границам зерен;

- между основой и первой зоной покрытия не наблюдается резкого перепада микротвердости. Глубина первой зоны несколько меньше и составляет 0,6-0,65 мм от основы. Средняя микротвердость первой зоны покрытия составляет 2297 МПа при шаге наплавки 1 мм и 2376 МПа при шаге наплавки 1,5 мм. Средняя микротвердость второй зоны покрытия при скоростях наплавки 160/220 мм/мин составляет 1861 МПа при шаге наплавки 1 мм и 2157 МПа при шаге наплавки 1,5 мм. Как видно, средняя микротвердость первой зоны при скоростях наплавки 160/220 мм/мин выше средней микротвердости второй зоны на 328 МПа;

- средняя микротвердость двухслойных покрытий из бронзы ПГ-19М-01 в обеих зонах увеличивается с увеличением шага наплавки, что скорее всего связано с меньшим перегревом покрытия при большем шаге наплавки;

- самая низкая средняя микротвердость двухслойных покрытий из бронзы ПГ-19М-01 наблюдается в обеих зонах при скорости наплавки первого/второго слоя 100/160 мм/мин – 2174 и 1698 МПа соответственно, в дальнейшем с ростом скорости наплавки происходит и рост средней микротвердости в обеих зонах, так при скорости наплавки первого/второго слоя 160/220 мм/мин средняя микротвердость двухслойного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 составляет соответственно 2337 и 2009 МПа, а при скорости наплавки 220/280 мм/мин – соответственно 2454 и 2172 МПа.

Полученные данные позволяют проследить изменение микротвердости покрытий из бронзы ПГ-19М-01 в процессе их формирования методом лазерной наплавки.

На начальном этапе образования покрытия, т.е. в момент наплавки единичного валика в покрытие из бронзы имеет достаточно высокую микротвердость. Средняя микротвердость покрытия (рисунок 6) при скорости наплавки 200 мм/мин достигает 4740 МПа, при этом значение микротвердости практически не изменяется по всей глубине покрытия. Большие величины средней микротвердости в единичных валиках из бронзы ПГ-19М-01 скорее всего связаны с двумя основными причинами: - с быстрым нагревом и охлаждением материала единичного валика, для которого имеются все необходимые условия (небольшое поперечное сечение валика и большая площадь поверхности), что способствует фиксации в материале валика высокотемпературных структур; - со значительным перемешиванием и взаимодействием материала покрытия и основы в ванне расплава, которая сравнима при лазерной наплавке с поперечным сечением валиков, т.е. с присутствием в материале валика большого количества железа. При этом на величину средней микротвердости достаточно сильно влияет скорость наплавки. При небольшой скорости наплавки (100 мм/мин) энерговклад в материал валика большой, формируется достаточно крупнозернистая структура со средней микротвердостью порядка 3480 МПа. В диапазоне скоростей наплавки 100-200 мм/мин при достаточно большом энерговкладе формируются условия получения оптимальной зернистости структуры и микротвердость достигает при скорости 200 мм/мин максимального значения – 4740 МПа. При дальнейшем увеличении скорости наплавки энерговклад в покрытие уменьшается, создаются условия несплавления покрытия по границам зерен и средняя микротвердость материала валиков снижается при скорости 300 мм/мин до 4400 МПа.

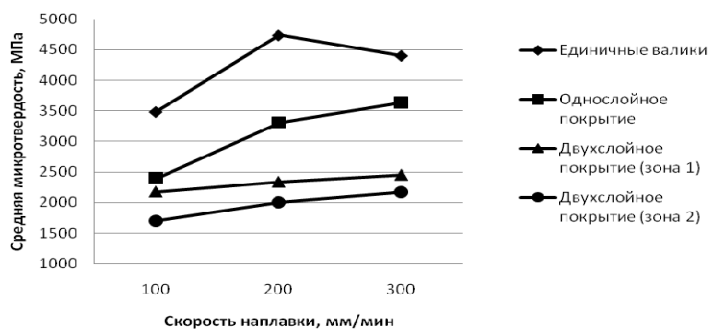


Рис. 6. Зависимость средней микротвердости покрытий из бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки

На следующей стадии формирования – образовании однослойного покрытия значение средней микротвердости распределяется по глубине покрытия также равномерно. Тем не менее условия нагрева-охлаждения покрытия уже значительно отличаются от тех которые имели место при наплавке единичных валиков. За счет повторных нагревов при наплавке соседних валиков при сохраняющемся хорошем перемешивании материалов покрытия и основы такой фактор, как быстрое охлаждение оказывает уже значительно меньшее влияние. Средняя микротвердость однослойного покрытия (рисунок 6) значительно ниже средней микротвердости единичных валиков. Максимальная средняя микротвердость однослойного покрытия составляет 3640 МПа при скорости 300 мм/мин. При этом скорость наплавки по-прежнему сильно влияет на величину микротвердости. С ростом скорости наплавки в исследованном диапазоне скоростей наплавки наблюдается рост микротвердости. Так при скорости наплавки 100 мм/мин за счет большого энерговклада в покрытие формируется крупнозернистая микроструктура с небольшой средней микротвердостью – 2392 МПа, с ростом скорости наплавки энерговклад в покрытие уменьшается, но за счет тепла выделяющегося при наплавке соседних валиков и повторных перепадов в покрытии в исследованном диапазоне скоростей наплавки создаются условия образования оптимальной зернистости структуры с хорошим сплавлением по границам зерен, что создает условия роста средней микротвердости до 3310 МПа при 200 мм/мин и 3640 МПа – при 300 мм/мин.

В дальнейшем при наплавке второго слоя покрытия в нем формируются две зоны, различающиеся по величине средней микротвердости. Ближе к основе до расстояния от нее 0,2-0,7 мм образуется зона с большей микротвердостью (зона 1), выше зоны 1 располагается зона более низкой микротвердости (зона 2). Микротвердость в обеих зонах распределяется достаточно равномерно. Формирование зоны 1 связано с первым слоем покрытия, который подвергся повторному переплаву при наплавке второго слоя покрытия, при этом за счет перемешивания материала первого слоя покрытия с материалом второго слоя в котором преобладают фазы на медной основе, в зоне 1 образуется достаточно крупнозернистая структура с микротвердостью ниже, чем у однослойного покрытия. Наибольшая средняя микротвердость зоны 1 составляет 2 455 МПа. Средняя микротвердость зоны 1, как и микротвердость однослойного покрытия увеличивается при росте скорости наплавки (рисунок 6). При скорости наплавки 100 мм/мин средняя микротвердость зоны 1 составляет 2175 МПа, при увеличении скорости наплавки в исследованном диапазоне скоростей наплавки средняя микротвердость растет до 2455 МПа при 300 мм/мин. Причины такой зависимости аналогичны тем, которые действуют в однослойном покрытии. Зона 2 двухслойного покрытия формируется на подложке, материалом которой, является материал зоны 1, в котором, как уже говорилось преобладают медные фазы. Поэтому материал зоны 2 представляет собой практически чистую бронзу, без железной составляющей. Максимальная средняя микротвердость в зоне 2 составляет 2175 МПа. Микротвердость зоны 2 также увеличивается при росте скорости наплавки. При скорости наплавки 100 мм/мин средняя микротвердость составляет 1700 МПа, с увеличением скорости наплавки средняя микротвердость зоны 2 в исследованном диапазоне непрерывно растет и достигает 2175 МПа при скорости наплавки 300 мм/мин. Причины такой закономерности увеличения средней микротвердости также связаны с определенным соотношением увеличения скорости охлаждения и поддержания оптимального энергосклада в покрытие за счет повторного нагрева при наплавке соседних валиков, как это происходит в однослойном покрытии.

Литература.

1. John C. Ion, *Laser processing of Engineering Materials: principles, procedure and industrial application*, Elsevier Butterworth – Heinemann, Burlington, MA, 2005.
2. William M. Steen, *Laser Material Processing*, third Ed., Springer, London, 2003.
3. E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin, *Laser Cladding*, CRS Press, Boca Raton, Florida, 2005.
4. J.Th.M. De Hosson, V. Ocelik, *Functionally graded materials produced with high power lasers*, Proceedings of ASTRA- 2003, Hyderabad, India, 2003, p.p. 368-376.
5. I. Yadroitsev, Ph. Bertland, B. Laget, I. Smurov, *J. Nucl. Mater.* 362 (2007) 189.
6. W. Lengauer, K. Dreyer, *J. Alloys Comp.* 338 (2002) 194.
7. Terry Wohlers, *Wohlers Report 2005, Rapid Prototyping, Tooling & Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report*.
8. Koch J., Mazumder J. *Rapid prototyping by laser cladding*. In: Denney P., Miyamoto I., Mordike BL, editors. *Proceedings of ICALEO '93*, 1993, vol. 77: p. 556-65.
9. Mazumder J., Koch J., Nagarathnam K., Choi J. *Rapid manufacturing by laser aided direct deposition of metals*. In: Cadle TM, Narasimhan KS, editors. *Advances in powder metallurgy and particulate materials*, part 15, Princeton, NJ, Metal Powers Industries Federation(MPIF), 1996. p. 107-18.
10. Mazumder J., Choi J., Nagarathnam K., Koch J., Hetzner D. *Direct Metal Deposition (DMD) of H13 tool steel for 30-D components: microstructure and mechanical properties*. *J Metals* 1997; 49 (5): 55-60.
11. Mazumder J., Schifferer A., Choi J. *Direct materials deposition: designed macro and microstructure*. *Mater. Res. Innovat* 1999; 3; 118-31.
12. Keicher D.M, Smugersky JE. *The laser forming of metallic components using particulate materials*. *J Metals* 1997; 49(5); 51-4.
13. Milewski JO, Lewis GK, Thoma DJ & et al. *Directed light fabrication of a solid metal hemisphere using 5-axis powder deposition*. *J Mater Process Tech* 1998; 75 (1-3); 165-72.
14. LONG Ri-sheng, LIU Wei-jun, XING Hua-bing. *Numerical simulation of thermal behavior during laser metal deposition shaping*. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 18 (2008) 691-699.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Е.Ю. Лебедева, О.В. Казьмина, д.т.н., проф.

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет

634000, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 43

E-mail: kriolanta@mail.ru

Одним из наиболее эффективных и допустимых способов защиты зданий и строительных конструкций от внешних воздействий, отрицательно сказывающихся на свойствах и сроке службы материалов, является использование красок. Например, снижение скорости нагрева защищаемых поверхностей с сохранением при этом их прочностных характеристик на определенный период времени (металлические конструкции, нагреваясь при пожаре, теряют несущую способность уже при 500°C). В настоящее время среди полифункциональных материалов наиболее перспективны композиционные покрытия на основе жидкого стекла. В отличие от органических аналогов, покрытия на основе неорганических силикатных составов атмосферо- и термостойки, устойчивы к действию УФ-лучей, обладают высокой воздухо- и паро-проницаемостью, огнезащитными свойствами, отличаются незначительным прилипанием пыли и грязи, являются экологически чистыми материалами [2]. Срок службы таких покрытий достигает 15 лет. К тому же, в этих красках практически не размножаются микроорганизмы, что помогает предотвратить появление плесени и грибов.

Краска на основе жидкого стекла является универсальной в плане окрашивания любых поверхностей. Как видно из данных, приведенных в таблице 1, силикатные краски применяются при выполнении малярных работ внутри и снаружи помещений, в строительстве и реставрации. Кроме того, силикатные краски на основе цинка и алюминия используются для защиты подводной части корпусов морских судов, труб горячего и холодного водоснабжения, внутренних поверхностей цистерн для хранения питьевой воды и т.д.

Таблица 1

Сочетание фасадных красок и строительных основ

	Водорастворимые на основе акрила и его сополимеров	Водорастворимые силиконовые и акриловые, модифицированные силиконом	Силикатная краска
Бетон	+	-	+
Силикатный кирпич	+	++	++
Красный кирпич	+	+	++
Газопенобетоны	-	-	+
Металлический лист	+	+	+
Известково-цементные штукатурки	++	++	++
Цементные штукатурки	+	++	++
Известковая штукатурка/краска	-	+	+
Силикатная штукатурка/краска	+	++	++
Силиконовая штукатурка/краска	+	++	-

Однако, жидкостекольные композиции не обладают длительным сроком хранения и поэтому чаще всего изготавливаются двух-упаковочными с целью получения готовой краски на месте применения, что является неудобным процессом, сдерживающим их использование.

Цель данного исследования - разработка составов одноупаковочной силикатной краски с улучшенными физико-химическими свойствами, такими как степень меления, вязкость, укрывистость, время высыхания, водопоглощение, паропроницаемость, устойчивость к воздействию микроорганизмов и УФ-излучения, пожаростойкость; пригодными в качестве полифункциональных покрытий для строительных конструкций различного назначения.

Традиционно, состав силикатной краски включает жидкое стекло, выполняющее функцию пленкообразователя [3], щелоче- и светостойкие пигменты, наполнители. Для придания силикатной краске необходимой для нанесения консистенции, в качестве наполнителя используют мел, тальк, слюду и прочее [4]. В Государственном стандарте на силикатные покрытия не прописано четкого компонентного состава красок, однако имеется соотношение жидкой и сухой частей 1:1, а также тре-

бования к вязкости конечного продукта. Следовательно, состав композиции может варьироваться в зависимости от желаемых эксплуатационных характеристик.

В данной работе опробованы варианты двадцати пяти составов, полученных на основе промышленного жидкого стекла с модулем 3,2 и плотностью 1,3 г/см³, лучшие из которых приведены в таблице 2. Составы с добавлением акриловой дисперсии отличались улучшенными характеристиками по сравнению с остальными образцами и имели высокий показатель укрывистости и низкую степень меления, поэтому для дальнейших исследований были выбраны два состава (СК-16 и СК-17).

Таблица 2

Химический состав силикатных красок

Обозначение краски	Содержание оксидов, мас. %					
	NaSiO ₃	ZnO	CaCO ₃	Тальк	Акриловая дисперсия	Добавки
СК-3	50	15	20	15	-	-
СК-5	26	10	31	10	9,5	3,5 (H ₂ NCONH ₂)
СК-11	45,0	15	15	15,0	5	-
СК-16	50,2	4	15,7	8,4	5	5 (SiO ₂)
СК-17	50,2	4	20,2	20,2	5	5 (SiO ₂)

Результаты полученных значений основных характеристик красок показали, что составы имеют высокий показатель укрывистости при относительно низком расходе материала на один квадратный метр, низкую степень отделения пигмента от пленкообразователя и коэффициенты водопоглощения и паропроницаемости, соответствующие интервалу значений ГОСТа. Кроме того, при использовании такого покрытия прочность образцов увеличилась в среднем на 1 МПа, по сравнению с неокрашенными (таблица 3).

Таблица 3

Физико-химические свойства силикатных красок

Обознач. краски	Значение свойства						
	Укрывистость, г/м ²	Степень меления	pH _{ЛКМ}	R _{сж} ¹ , МПа	Sd ²	R _{сц} ³ , мПа	W ⁴ , кг/м ³ *г ^{1/2}
СК-16	223,23	1	9,402	5,83	0,008	0,64	0,00172
СК-17	227,65	1	9,349	5,63	0,042	0,46	0,0092

1 – прочность окрашенного образца при сжатии; 2- коэффициент паропроницаемости; 3-прочность сцепления покрытия с основанием; 4-коэффициент водопоглощения.

Испытания на огнестойкость покрытий показали способность краски к вспучиванию и защите поверхности от пожара. Эта способность была исследована на керамических образцах цилиндрической формы путем воздействия газовой горелки с температурой на конце пламени 800°C. Результат проведенного эксперимента (рис. 1) показал, что в течении первых 5 минут воздействия образец покрылся копотью, на десятой минуте та часть образца, на которую приходилось максимальное воздействие пламени, начала вспениваться. При этом покрытие не загорелось и не потрескалось, что свидетельствует о наличии огнезащитных свойств краски. Данным изменениям можно присвоить степень R по ГОСТ 16363-98.



Рис. 1. Образцы «до» и «после» воздействия пламени

Для подтверждения экологичности покрытия, образцы прошли проверку на грибостойкость. Было проведено испытание на контроль жизнеспособности спор грибов на среде Чапека-Докса с агаром и проверка стерильности питательной среды. В ходе проведения испытаний было обнаружено,

что плесневые грибы жизнеспособны и хорошо развиваются в среде, при этом образцы с нанесенной краской не являлись питательной средой росту и не способствовали росту и развитию *Aspergillus niger*. Установлено (рис. 2), что в течение 28 суток грибы активно развивались на поверхности вокруг образца, однако на поверхности самого образца обнаружены не были, поэтому оба состава были оценены в 1 балл, что соответствует слабому фунгицидному эффекту и означает наличие стойкости к росту и развитию грибов *Aspergillus niger*.



Рис. 2. Испытания на грибостойкость

Улучшенные характеристики силикатной краски по сравнению с другими видами покрытий, можно объяснить её составом и процессами, протекающими как на стадии приготовления краски, так и в процессе нанесения на поверхность и эксплуатации. На рисунке 3 представлено схематичное изображение процессов силикатизации краски разработанного состава на различных стадиях.

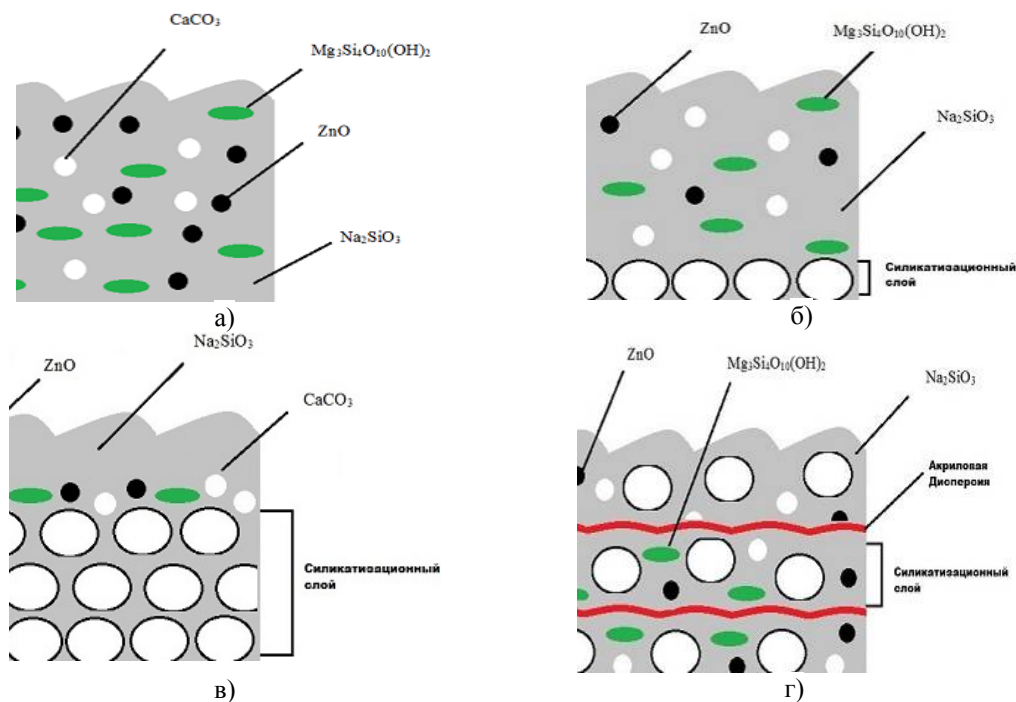


Рис. 3. Процессы, протекающие при взаимодействии компонентов в силикатной краске: а – стадия смешивания компонентов жидкостекольной композиции; б – начало силикатизации; в – полимеризация силикатизационного слоя; г – влияние добавки акриловой дисперсии на процесс силикатизации

При добавлении в жидкостекольную композицию отвердителей, ионы кальция, магния и цинка взаимодействуют с ионными формами жидкого стекла. Взаимодействие происходит по следующему уравнению: $\equiv \text{SiO}^- + \text{Ca}^{2+} (\text{Mg}^{2+}) \rightarrow \equiv [\text{SiO}^- \text{O} \text{Ca}]^+$ с образованием нерастворимых силикатов, происходит полная или частичная перезарядка частиц, что является причиной их укрупнения с дальнейшей коагуляцией. При нанесении краски на поверхность протекает объединение частиц в агрегат, адсорбирующийся на твердофазной поверхности в виде тонкого слоя, ионы щелочных металлов, растворимых в воде, остаются в растворе. В процессе сушки на стадии гелеобразования происходит поликонденсация гидроксильных групп и процесс заканчивается полным структурированием и образованием прочной пленки.

Образование нерастворимых силикатов подтверждается данными рентгенофазового анализа, по результатам которого фиксируется, что большее количество пиков приходится на силикаты цинка, что соответствует теории об образовании силикатизационного слоя благодаря цинковым белилам, исполняющим функцию отвердителя. Установлено, что в обоих составах происходит процесс образования силикатов кальция и цинка, следовательно, распределение наполнителей и пигментов сопровождаются химическими реакциями (рис. 4). Кроме того, на рентгенограмме присутствуют дифракционные максимумы, соответствующие неактивным наполнителям мелу и тальку, а также акриловой дисперсии, что указывает на неполное протекание реакций силикатизации, и свидетельствует о возможности хранения такой краски.

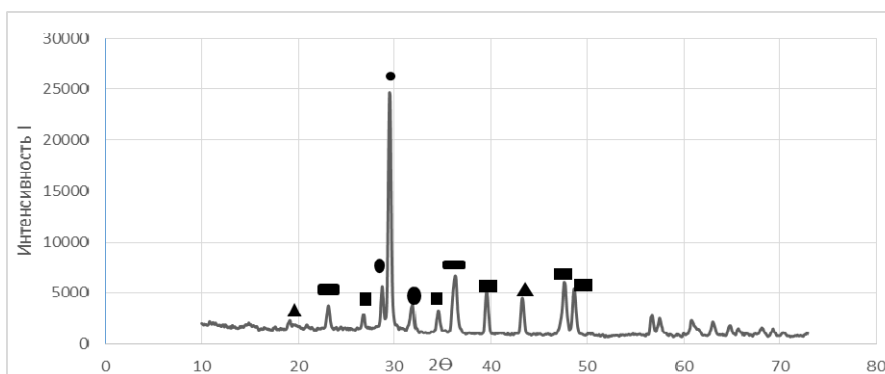


Рис. 4. Рентгенограмма образца SK-16
● - Zn_2SiO_4 ; ● - ZnSiO_3 ; ■ - CaCO_3 ; ■ - CaSiO_3 ; ▲ - $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$;
■ - $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_6$

Исследуемые образцы СК-16 и СК-17 также прошли тест-драйв на применение их как силикатного покрытия для фасадных работ. Тестовым покрытием стала кирпичная стена гаражной пристройки. Краска наблюдалась в течение года на наличие нарушения целостности покрытия, пузырения и отставания пленки. Установлено, что за 8 месяцев покрытие выдержало мороз, выпадение осадков и естественную смену температурных режимов без видимых повреждений.

Таким образом, из опробованных пяти составов красок на основе жидкого стекла в качестве одноупаковочной можно применять дисперсионно - силикатную краску с добавлением акриловой дисперсии (СК-16 и СК-17). Данные составы имеют оптимальные значения степени укрывистости и меления, отсутствие расслоения, низкое водопоглощение и высокую паропроницаемость. Также отсутствует возгорание покрытия и размножение на поверхности грибков по причине низкого содержания органических полимеров. Огнезащитным свойствам разработанных составов присвоена категория R благодаря эффекту вспенивания покрытия, что указывает на экологичность лакокрасочных силикатных материалов. Данные краски рекомендуются применять в большом интервале температур от +25 до -15°C.

Литература.

1. Информационный портал, посвященный лакокрасочным материалам и защите от коррозии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.corrosio.ru/> ;
2. Персональный сайт торговой компании ООО «Астрэй» [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.tkastreya.ru/>;
3. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло Спб: Стройиздат, 1996 - 216 с.
4. Дринберг А.Я., Снедзе А.А., Тихомиров А.В. Технология лакокрасочных покрытий— 2-е изд., перераб. и доп. — Л. Госхимиздат, 1955. — 652 с.: ил. — Библиогр.: с. 623-635.

К ПОВЫШЕНИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*М.В. Песин**, *** к.т.н., доцент, Р.К. Шакиров**, *Д.А. Субботин**

**Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь*

***ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Пермь
614010, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, тел. +7 342 2198249.*

E-mail: M.Pesin@mail.ru

Современная экономическая ситуация в стране требует технологической модернизации машиностроительных предприятий, повышения эффективности производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Всё это приводит к постоянному увеличению производительности, качества и точности обработки деталей, а также уменьшению энерго- и материалоемкости изготавливаемой продукции.

По различным оценкам около 70% всех механических соединений составляют именно резьбовые соединения, и на их сборку затрачивается примерно 25-35% от времени изготовления изделий. [1]

Резьбовые соединения являются технологически и экономически целесообразными для соединения бурильных труб (утяжеленные, ведущие, толстостенные бурильные трубы и др.), потому что такое соединение предполагает возможность разборки и хорошие свойства уплотнения. Резьбовое соединения бурильных труб показано на рисунке 1.

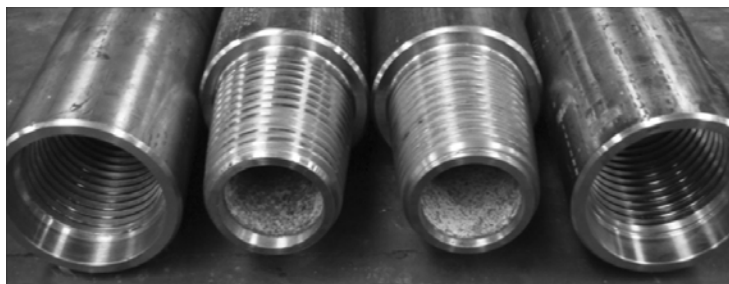


Рис. 1. Резьбовое соединения бурильных труб «Ниппель-муфта»

Долговечность и надежность машин и конструкций зависит от эксплуатационных характеристик наиболее нагруженных деталей. В бурильных трубах на резьбовые соединения действуют большие осевые нагрузки и крутящие моменты, динамические вибрации, изгибающие моменты, а также соединения подвергаются воздействию агрессивной среды. Более 40% аварий на скважинах происходит из-за разрушения резьбового соединения бурильных труб, пример разрушения показан на рис. 2 [2]. Такие аварии приводят к затратам от нескольких сотен тысяч до миллиона долларов США [3, 4].

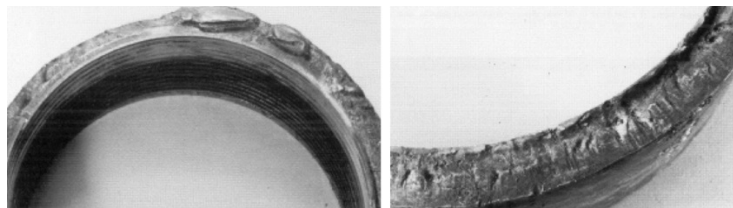


Рис. 2. Разрыв резьбы по впадине

На долговечность резьбовых соединений влияют следующие факторы: износостойкость, поверхностная прочность, остаточные напряжения, микронеровности поверхности и пр. Широкое применение в промышленности для повышения долговечности деталей машин получили методы отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием (ОУО ППД) вследствие простоты, высокой производительности, высокой стойкости и надежности используемого инструмента.

Обработка методом ППД производится без снятия материала обрабатываемой заготовки и состоит в силовом контакте воздействующего инструмента на поверхность заготовки при их относительном движении. В результате происходит повышение долговечности и выносливости изделий вследствие выглаживания поверхностных микронеровностей (снижение шероховатости) и упрочнения поверхностного слоя (создание благоприятных сжимающих напряжений, повышение микротвердости и предотвращение появления усталостных трещин). Наиболее распространенными статиче-

скими методами ППД являются дорнование, выглаживание и обкатка, при которых осуществляется непрерывное контактное взаимодействие инструмента с заготовкой в процессе их взаимного относительного перемещения [5].

Установление связи между структурноэнергетическим состоянием материала и сопротивлением усталости позволяет оптимизировать процесс упрочняющей обработки, обеспечить контроль технологического процесса обработки и его надёжность, повысить эксплуатационные характеристики деталей и изделий [6].

Исследования изменения параметров структуры в связи с остаточными напряжениями и сопротивлением усталости позволили сделать вывод, что между пределом выносливости и параметрами кристаллической структуры существует функциональная связь. Эти параметры могут быть критериями оптимизации упрочнения поверхностного слоя, средством контроля степени упрочнения и надёжности технологического процесса финишной обработки. Также известно влияние прикладываемой силы на микро- и макроструктуру и свойства испытываемого материала [7].

Режимы отделочной, отделочно-упрочняющей и упрочняющей обработки для статических методов определяются номинальным давлением в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности детали, обеспечивающим требуемые величины контактного сближения инструмента и обрабатываемой поверхности. Определены зависимости режимов отделочно-упрочняющей обработки и радиуса обрабатываемого инструмента [8].

На данный момент широко распространён метод 3D моделирования и метод конечных элементов при исследовании распределения остаточных напряжений в резьбовом соединении [9]. По данным анализа выявлено распределение контактного давления, распределения осевой нагрузки и концентрации напряжений. Построенная модель позволяет исследовать зависимость свойств резьбы от геометрических размеров и применяемых материалов. Такая модель может быть использована для оптимизации конструкций и повышения надёжности резьбового соединения.

Отечественные и зарубежные стандарты в области нефтяного машиностроения содержат рекомендации по упрочнению впадин резьбы методом обкатки роликом. В ПНИПУ совместно с ПКНМ выполнено компьютерное моделирование процесса упрочнения впадины резьбы обкаткой роликом с использованием пакета *ABAQUS*. В процессе обкатки резьбы роликом, показан на рис. 3, в приповерхностных слоях материала межвитковой впадины резьбы формируются области сжимающих напряжений, что приводит к упрочнению приповерхностного слоя и препятствует возникновению микротрещин.

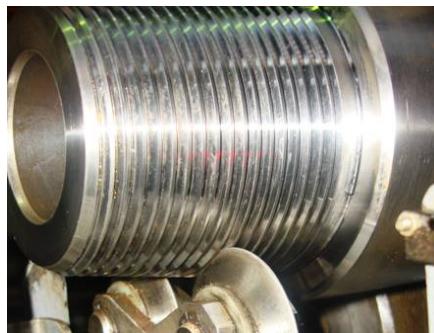


Рис. 3. Обкатка резьбы буровой трубы роликами

Но, в результате данного процесса в подповерхностных слоях материала резьбы могут формироваться области значительных растягивающих напряжений, что может приводить к возникновению внутренних микро- и макротрещин, приводящих к разрушению конструкции. Подбирая оптимальные параметры процесса (геометрия ролика и сила его прижатия), можно получать благоприятные для данной конструкции распределения остаточных напряжений [10].

Также для упрочнения резьбовых соединений буровых труб создан стенд для упрочнения впадин резьбы буровых труб. Пластическое деформирование впадин наружной конической резьбы осуществляется с помощью двух самоустанавливающихся роликов при действии радиальной силы, передаваемой с помощью гидросистемы от гидростанции. Сравнение результатов усталостных испытаний показало увеличение наработки обкатанного резьбового соединения над неупрочнённым в 2,7...3,7 раза.

Таким образом, в результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- наиболее частой причиной преждевременного выхода из строя бурильных труб становится разрушение резьбового соединения «ниппель-муфта»;
- эффективным технологическим методом, повышающим усталостную прочность резьбовых соединений и имеющим минимальные затраты, является метод поверхностной пластической деформации;
- выполнено компьютерное моделирование процесса упрочнения впадины резьбы обкаткой роликом;
- создан стенд для упрочнения впадин резьбы бурильных труб.

Литература.

1. Chumakov R. Optimal control of screwing speed in assembly with thread-forming screws // International Journal Manufacturing Technology. – 2008. - №36. – P. 395-400.
2. Yanko V.M. Increasing Joint Life and Reliability by Surface Treatment of Thread on Titanium Pipe // Russian Engineering Research. – 2014. - №2. – P. 59-70.
3. X.-H. Zhu The parameter sensibility analysis for fishing box tap based on the overall process of elastoplasticity in oil and gas wells // Mathematical and Computer Modeling. - 2013. - №58. - P. 1540-1547.
4. Macdonald K.A. Failure analysis of drillstrigs // Engineering Failure Analysis. - 2007. - №14. - P. 1641-1666.
5. Ежелев А.В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием // Fundamental Research. – 2012. – №6. – С. 642-646
6. Волков А.Н. Исследование влияния методов ППД на структуру поверхностного слоя и сопротивление усталости // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. - №3 (34). – С. 153-156
7. Burkhanov G.S. Plastic Deformation Nonuniformity and Localization during Metal Forming // Russian Metallurgy (Metally). – 2012. – №7. – P. 592-598.
8. Гуров Р.К. Определение условий отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием статическими методами // Известия ЮЗГУ. Серия Техника и технологии. – 2011. - №2. С. 8-12.
9. Guoqing Y. Three-dimensional Finite Element Analysis of the Mechanical Properties of Helical Thread Connection. // Chinese Journal of mechanical engineering. – 2013. - №3. P. 564-572.
10. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы бурильных труб обкатыванием роликом // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. - №5(30). - С. 68-70.

К АНАЛИЗУ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ РЕЗЬБЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.В. Песин, **, к.т.н., доц., Р.А. Туранский*, А.В. Григорьева**

**Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь*

***ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Пермь
614010, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, тел. +7 342 2198249.*

E-mail: M.Pesin@mail.ru

Нефтяные компании имеют высокую потребность в качественном оборудовании, надежном инструменте и энергоэффективных технологиях. Одним из главных направлений нефтяной промышленности является бурение. Для бурения скважин используются следующие виды труб: бурильные трубы (БТ), утяжеленные бурильные трубы (УБТ), ведущие бурильные трубы (ВБТ), толстостенные бурильные трубы (ТБТ). Ниппельная часть бурильной трубы и ее муфтовая часть показаны на рис. 1. В таких трубах резьбовые соединения воспринимают большие осевые нагрузки и крутящие моменты, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по точности изготовления и надежности [1]. Помимо осевой нагрузки и динамических вибраций на трубы действует изгибающий момент, а также они подвергаются воздействию агрессивной среды. Основной проблемой в бурении является недостаточная работоспособность бурильных труб и, прежде всего, соединительных узлов. Наиболее частой причиной преждевременного выхода из строя бурильных труб становится разрушение резьбового соединения «ниппель-муфта» [2]. Поэтому проблема упрочнения резьбовых соединений является актуальной.

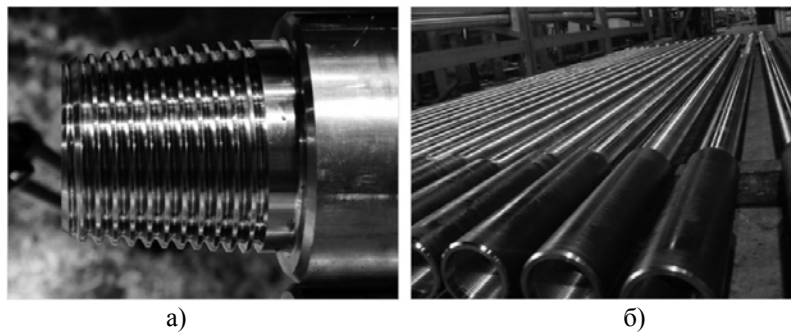


Рис. 1. Бурильная труба: а) nipple часть; б) муфтовая часть

Существует несколько методов упрочнения резьбовых соединений. Для решения поставленной проблемы были рассмотрены основные из них, а именно, метод поверхностного пластического деформирования, метод плазменного упрочнения, химико-термического упрочнения и метод ультразвуковой прокатки.

В настоящее время этот метод поверхностного пластического деформирования получил широкое применение. В результате ППД повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости Ra , увеличиваются радиусы закругления вершин и относительная опорная длина профиля и т.п.. Формирование поверхностного слоя с заданными свойствами должно обеспечиваться технологией упрочнения. В свою очередь, метод ППД имеет следующие разновидности: обкатывание роликами, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка, виброгалтовка и др.

Рекомендуемым методом упрочнения резьбового соединения является обкатывание роликами, так как данный метод обеспечивает:

повышение микротвердости резьбовой поверхности трубы (резьбовой канавки и боковой поверхности витка резьбы);

повышение герметичности соединения; устранение явлений схватывания и задиров; не требует значительных затрат.

Метод обкатывания роликами, показан на рис. 2, обладает рядом технических преимуществ [3]:

- возможностью встраивания технологии и оборудования в действующие технологические процессы;
- высоким сроком службы профильных обкатных инструментов; низкими, в сравнении с другими технологиями, эксплуатационными затратами и доступностью расходных материалов;
- возможностью использования технологии как для упрочнения nipple, так и муфтовой резьбы без ограничения размеров.

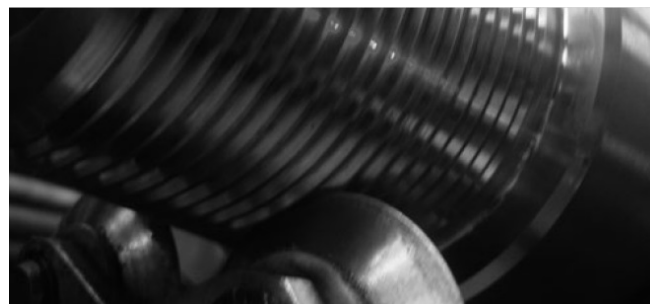


Рис. 2. Пример обкатки трубы роликами

В основе плазменного поверхностного упрочнения, показана на рис.3, лежит способность плазменной струи (дуги) создавать на небольшом участке поверхности высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления или испарения практически любого металла. Основной физической характеристикой плазменного упрочнения является температурное поле, значение которого дает возможность оценить температуру в разных точках зоны термического воздействия (в разные моменты времени), скорость нагрева и охлаждения, а в конечном итоге структурное состояние и фазовый состав поверхностного слоя материала [4].



Рис. 3. Пример плазменного упрочнения

В рамках проекта были проведены исследования в плазменном упрочнении замковой конической резьбы на переводнике буровой колонны, показан на рис. 4.



Рис. 4. Плазменное упрочнение замковой конической резьбы на переводнике буровой колонны

При анализе химико-термического упрочнения выявлено повышение микротвердости поверхностного слоя и увеличение его коррозионной стойкости [5]. Однако, проведенные исследования показали, что существенного увеличения усталостной прочности не наблюдается.

Процесс ультразвуковой прокатки, показан на рис. 4, имеет большую мощность по сравнению с обычной обкаткой резьбы. В результате процесса ультразвуковой прокатки на поверхность впадины резьбы действует альтернативная сила с большой амплитудой и высокой частотой, благодаря которой наблюдается улучшение усталостной прочности резьбы. Однако, он боится большие затраты в сравнении с обкаткой [6].

В результате проведения сравнительного анализа приведенных методов было выяснено, что наиболее подходящим методом упрочнения резьбы является метод ППД вследствие его простоты и дешевизны.

Литература.

1. Macdonald K.A. Failure analysis of drillstrigs // *Engineering Failure Analysis*. - 2007. - №14. - P. 1641-1666.
2. Xiao-Hua Zhu The parameter sensibility analysis for fishing box tap based on the overall process of elastoplasticity in oil and gas wells // *Mathematical and Computer Modeling*. - 2013. - №58. - P. 1540-1547.
3. Fares Y. Determining the life cycle of bolts using a local approach and the Dang Van criterion // *Fatigue & Fracture & Engineering Materials & Structures*. - 2006. - №29. - P. 588-596.
4. Песин М.В. Повышение надежности буровых труб на стадии проектирования путем использования математического моделирования процесса упрочнения резьбовой поверхности // *Экспозиция Нефть Газ*. - 2013. - №2(27). - С. 56-57.
5. Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints // *Russian Engineering Research*. - 2012. - Vol. 32. - №2. - P. 210-212.
6. Cheng Minglong, Zhang Deyuan, Chen Huawei, Development of ultrasonic thread root rolling technology for prolonging the fatigue performance of high strength thread // *Journal of Materials Processing Technology*. - 2014. - №33. - P. 2396-2401.

РАСЧЕТ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

М.А. Шавва, С.В. Грубый, д.т.н., проф.

ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»,

*Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
107023, Москва, Большая Семеновская, 49*

E-mail: katapu@mail.ru, grusv@yandex.ru, тел. (965)-419-19-55

Повышение производительности и качества алмазного шлифования хрупких материалов является актуальной проблемой для современной оптико-электронной и оптической промышленности. В свою очередь, на эти показатели непосредственное влияние оказывает состояние алмазного шлифовального круга. Износ алмазного круга связан с износом зерен на его поверхности [1]. За счет увеличения износа алмазных зерен, увеличивается площадь контакта между заготовкой и шлифовальным кругом, что приводит к увеличению сил в зоне резания. Как следствие - степень затупления и частота правки круга может быть определена путем непрерывного контроля сил в зоне шлифования [2].

Для расчета сил в зоне резания необходимо рассмотреть силы, действующие на единичное алмазное зерно. Поскольку алмазное зерно имеет сложную пространственную форму с большим числом режущих кромок, рассмотрена его упрощенная модель. Например, в работах [2, 3, 4] установлено, что наиболее точно форма алмазного зерна описывается эллипсоидом вращения с постоянным отношением полуосей, $\alpha=0.6$.

На рисунке 1 показано зерно в виде эллипсоида вращения и действующие на него силы.

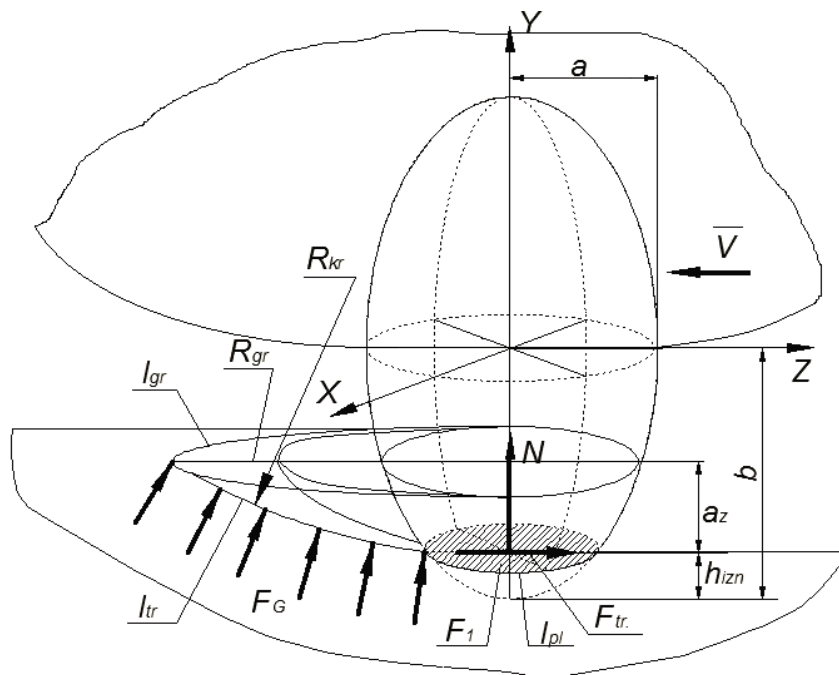


Рис. 1. Силы, действующие на единичное изношенное алмазное зерно

На рис. 1 обозначены:

N - сила реакции обрабатываемого материала, действующая на алмазное зерно по площадке износа F_1

$$N = \sigma_n F_1, \quad (1)$$

где σ_n - нормальное напряжение на площадке износа алмазного зерна (равно твердости обрабатываемого материала) [5];

F_{tr} - сила трения, действующая по площадке износа зерна

$$F_{tr} = \mu N, \quad (2)$$

где μ - коэффициент трения между обрабатываемым материалом и алмазным зерном.

Поскольку при обработке хрупких аморфных материалов удаление припуска происходит путем скола в зоне резания [6], в первый момент взаимодействия алмазного зерна с обрабатываемым материалом на обрабатываемой поверхности образуется трещина. Затем размер трещины становится критическим, происходит разрушение и удаление материала. Сила, приводящая к возникновению критической трещины, может быть рассчитана по формулам, исходя из величины напряжений в зоне резания и площади скола. Напряжения и, следовательно, сила трещинообразования направлена перпендикулярно поверхности скола. Выдвинуто предположение, что направление распространения трещины совпадает с траекторией резания единичного зерна.

Таким образом, тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, действующей на единичное алмазное зерно, равны:

$$F_{zr} = F_{tr} + F_{Gz} = N\mu + F_{Gz} = \sigma_n F_1 \mu + F_{Gz} \approx HV \cdot F_1 \mu + F_{Gz}$$

$$F_{yr} = N + F_{Gy} = \sigma_n F_1 + F_{Gy} \approx HV \cdot F_1 + F_{Gy}$$

Сила трещинообразования может быть задана выражением:

$$F_G = \sigma_k S_{sk} , \quad (3)$$

где σ_k - напряжение, вызывающее образование критической трещины в зоне резания; S_{sk} - площадь скола обрабатываемого материала.

Напряжение, вызывающее образование критической трещины, зависит от длины трещины и может быть задано формулой, заимствованной из источника [7]:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi l_{tr}}} \quad (4)$$

где γ - интенсивность поверхностной энергии обрабатываемого материала; E - модуль Юнга; l_{tr} - длина трещины, образующейся в зоне резания.

Длина критической трещины в зоне резания, а также площадь скола может быть рассчитана, исходя из геометрии зерна и кинематики круга.

Для расчета суммарной силы резания, действующей на алмазный круг, необходимо рассчитать число режущих зерен на поверхности круга и в зоне резания.

Число режущих зерен, находящихся в контакте с обрабатываемым материалом, может быть рассчитано по предложению А.Н. Резникова [2], скорректированному по конкретным условиям шлифования в работе авторов [2] в виде формулы:

$$n_p \approx 0,047 \cdot \beta \cdot \frac{K_0(1-\varepsilon)}{\pi \alpha^{3/2} b^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{VK_0(1-\varepsilon)^3}} \cdot S \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \cdot S_c , \quad (5)$$

где β^* - поправка на несимметричность расположения кривой распределения вершин зерен (распределение вершин зерен на поверхности круга подчиняется нормальному закону); K_0 - концентрация алмазных зерен в алмазоносном слое круга, %; ε - относительная критическая заделка зерна, которая определяется глубиной заделки зерна в связке в момент, когда оно уже не удерживается последней на поверхности круга; b - величина большей полуоси эллипсоида вращения, мкм; V - скорость шлифования, м/с; S - скорость движения заготовки м/мин; t - припуск, снимаемый шлифовальным кругом за один проход, мм; D - диаметр шлифовального круга, мм; S_c - площадь пятна контакта шлифовального круга и заготовки, мм².

Суммарные силы резания при алмазном шлифовании хрупких аморфных материалов рассчитываются по формулам:

$$F_{zr} \approx (HV \cdot F_1 \mu + F_{Gz}) \cdot n_p$$

$$F_{yr} \approx (HV \cdot F_1 + F_{Gy}) \cdot n_p$$

Расчетные зависимости сил резания при алмазном шлифовании хрупких материалов проверены по эмпирическим степенным зависимостям, приведенным в литературном источнике [8].

$$F_{ye} = 27.49 \cdot t^{0.46} \cdot s^{0.31} \cdot v^{-0.29}$$

$$F_{ze} = 1.26 \cdot t^{0.12} \cdot s^{0.47} \cdot v^{-0.08}$$

Степенные зависимости были получены для условий плоского алмазного шлифования периферией круга заготовок из ситалла марки АС-418. В экспериментах был использован шлифовальный круг 1А1 200х10х3х76 А250/200-4-М2-01. Режимы шлифования варьировались в следующих пределах: скорость круга $V = 23 - 41$ м/с, подача $S = 1.1 - 4.47$ м/мин, глубина резания $t = 0.1 - 0.4$ мм.

Физико-механические характеристики ситалла составляют: модуль Юнга – 85 000 МПа; коэффициент Пуассона – 0,25; микротвердость $H_{\mu} = 8\ 500$ МПа; пределы прочности на изгиб – 110 МПа, сжатие – 1450 МПа, растяжение – 60 МПа. Остальные исходные параметры, необходимые для расчета, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные параметры алмазного шлифования.

Параметры	Значения
Обрабатываемый материал	Ситалл СО-418
Концентрация алмазных зерен в связке, %	100
Отношение осей эллипсоида, задающего форму зерна α	0,6
Коэффициент заделки алмазного зерна в связке ε	0,5
Диаметр шлифовального круга D , мм	200
Зернистость шлифовального круга, мкм	200/250
Максимальный износ алмазного зерна h_{izn} , мкм	140
Коэффициент трения между обрабатываемым материалом и зерном, μ	0,1

На рисунках 2, 3 и 4 приведены графики зависимостей сил резания при алмазном шлифовании при максимальном затуплении зерен от режимных параметров процесса: подачи, глубины, скорости шлифования.

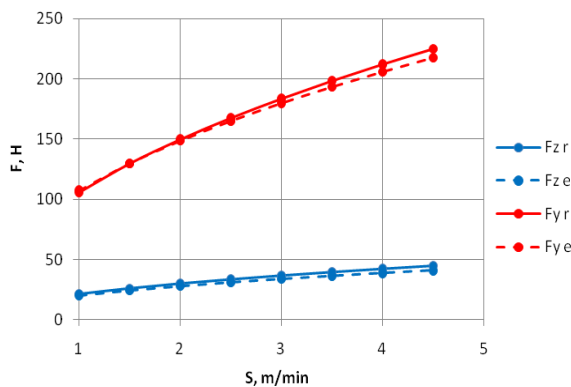


Рис. 2. Зависимости сил шлифования от скорости подачи заготовки ($t = 0,1$ мм, $V = 20$ м/с)

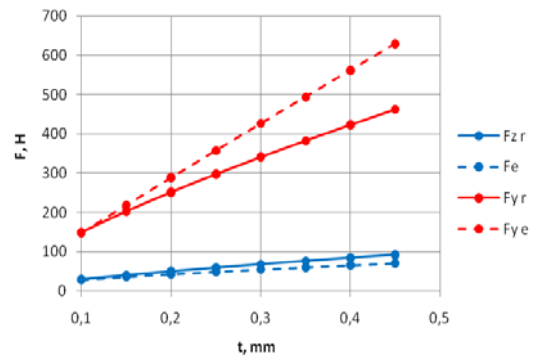
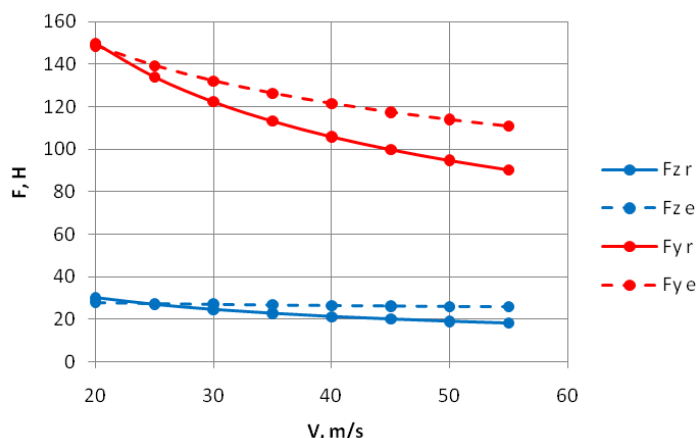


Рис. 3. Зависимости сил шлифования от глубины резания при одном проходе (снимаемого кругом за один проход ($S = 2$ м/мин, $V = 20$ м/с)

Рис. 4. Зависимости сил шлифования от скорости шлифовального круга ($S = 2 м / мин$, $t = 0,1 мм$).

Относительное расхождение между силами, рассчитанными по эмпирическим зависимостям, и по расчетным формулам составляет от 0 до 26%, что можно считать приемлемым.

Приведенная модель расчета сил в зоне резания при алмазном шлифовании хрупких материалов позволяет найти зависимость между силами резания и износом зерен на поверхности круга. Зная эту зависимость, можно назначить предельное значение износа и рассчитать силу резания, при которой необходимо применить правку шлифовального круга.

Поскольку от износа круга напрямую зависит качество обрабатываемой поверхности [9], величина износа для чернового или финишного шлифования будет разной. Так, для черновой обработки износ зерна может составить 30-40% от среднего диаметра абразива, а для чистовой – 10-20%.

На рисунке 5 представлена графическая зависимость сил резания от износа круга для различных хрупких аморфных материалов: оптического стекла К8, ситалла АС-418. Свойства материалов приведены в таблице 2. Остальные исходные параметры для расчета приведены в таблице 3. Величина сил ограничивается назначенным средним износом алмазных зерен на поверхности круга, равным 35%.

Таким образом, тангенциальная составляющая силы шлифования для рассмотренных хрупких материалов увеличилась в среднем на 65%.

Таблица 2

Физико-механические свойства материалов

Обрабатываемый материал	Твердость, МПа	Модуль Юнга, МПа	Интенсивность поверхностной энергии, $\cdot 10^{-3} Н/мм$
Оптическое стекло К8	4 980	83 330	0,5
Оптическое стекло ЛК51	5 210	68 470	0,3
Ситалл СО-418	8 500	85 000	0,5

Таблица 3

Параметры расчета

Параметр процесса	Значение параметра
Концентрация алмазных зерен в связке, %	100
Отношение осей эллипсоида, задающего форму зерна α	0,6
Коэффициент заделки алмазного зерна в связке ε	0,5
Диаметр шлифовального круга D , мм	200
Зернистость шлифовального круга, мкм	200/250
Максимальный износ алмазного зерна h_{izn} , мкм	45
Коэффициент трения между обрабатываемым материалом и зерном, μ	0,1
Припуск t , мм	0,1
Скорость круга V , м/с	20
Скорость подачи заготовки S , м/мин	2

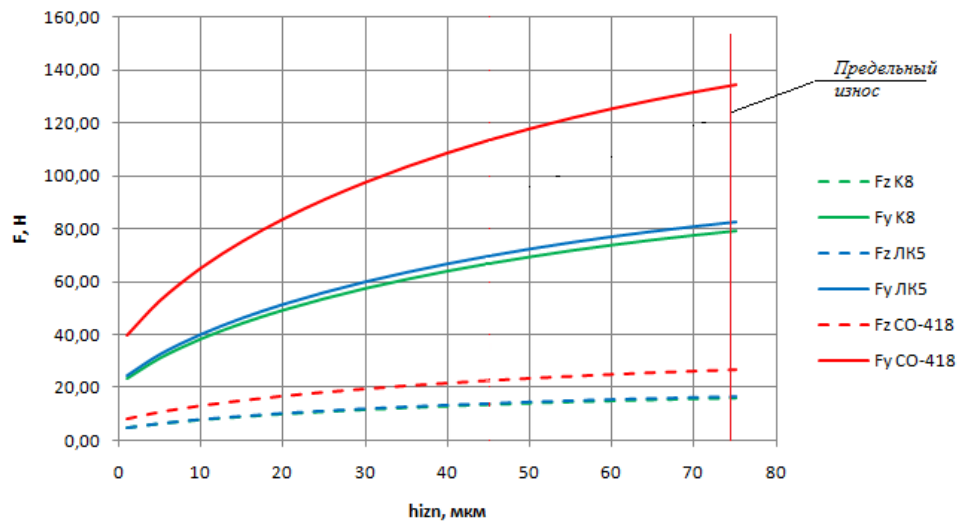


Рис. 5. Зависимость сил резания от износа круга для различных материалов

Непрерывный контроль тангенциальной составляющей силы шлифования, например, через мощность привода, позволяет контролировать износ и назначать период стойкости алмазного круга для различных режимных параметров процесса, вида обработки, параметров круга и свойств обрабатываемого материала. Таким образом, возможна оптимизация процесса и уменьшение процента брака при чистовой обработке поверхностей из хрупких оптических материалов.

Литература.

1. Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann E., Rowe Brian W., Inasaki I. Handbook of Machining with grinding wheels. London: CRC Press, 2007. 596 p.
2. Шавва М.А. Грубый С.В. Анализ взаимосвязи износа круга и сил резания при алмазном шлифовании// Электронное научно-техническое издание Наука и образование. 2014. #11.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
4. Кузнецов, А.А. Определение силы резания, действующей на единичную режущую кромку изношенного абразивного зерна// Труды IV Всероссийского конф.-семинара «Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы». Сызрань 22 мая 2009 г. – Самара: Издательство СТГУ. 2009.
5. Jackson M.J., Davim J.P. Machining with Abrasives. London: Springer, 2011. 419 p.
6. Fan X., Miller M. Force analysis for segmental grinding. Houghton: Michigan Technological University, 2004.
7. Николаева Е.А. Основы механики разрушения. Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2010. 103 с.
8. Калафатова, Л.П., Поезд С.А. Влияние состава смазочно-охлаждающих технологических сред на тепловые и силовые характеристики процесса шлифования ситаллов// Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Машиностроение и машиноведение, 2008. С. 30–39.
9. Tonnellier X., Morantz P., Shore P., Baldwin A., Evans R., Walker D. Subsurface damage in precision ground ULE and Zerodur surfaces. 2007. Optics Express, Vol. 15, Issue 19.

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

С.Н. Федосеев, асп., А.А. Некрасова, ст. гр. 10В10

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: fedoseevsn@list.ru*

В современной металлургии большинство сталей раскисляют алюминием, который служит действенным модификатором структуры, обеспечивающим получение более плотной стали с заданным мелким зерном и хорошими показателями пластичности и вязкости. Но образующиеся остроугольные включения - продукты раскисления алюминием, как концентраторы напряжений и очаги разрушения металла, особенно опасны в условиях охрупчивания стали при низких температурах и

больших нагрузках. Присутствие этих включений отрицательно сказывается на свойствах жидкого и твёрдого металла, и из-за этого было введёно ограничение на применение алюминия для раскисления сталей ответственного назначения. Отметим, что обработка стали, раскисленной алюминием, кальцийсодержащим реагентом позволяет устранить эти нежелательные эффекты.

Применение для обработки металла раскислителей, модификаторов одинарных композиций (типа силикокальция), содержащих, как правило, один сильный раскислитель, исчерпало свои возможности. Это связано, во-первых, с ограниченными возможностями удаления НВ, образующихся в жидком металле при введении этих реагентов или в кристаллизующемся слитке (заготовке), а, во-вторых, с несовершенством самих методов присадки высокоактивных элементов в жидкий стальной расплав.

В настоящее время многие заводы и комбинаты оборудованы различного типа “ковшами-печами”, установками вакуумирования, устройствами для введения легкоокисляющихся добавок (кальция, редкоземельных металлов, титана и т.п.) в сталеразливочный ковш путём вдувания струёй инертного газа или введения порошковой проволоки. При этом удаётся достаточно полно перевести остроугольные продукты раскисления алюминием и легкоплавкие сульфиды марганца, располагающиеся в виде строчек вдоль направления прокатки, в глобулярные оксисульфиды. Проведение этого технологического приёма позволяет значительно снизить отрицательное действие вредных примесей и получать металл с более высокими техническими показателями.

Но и методу модифицирования металла порошковой проволокой, -этому, несомненно, прогрессивному способу введения легкоокисляющихся реагентов, присущ ряд недостатков. Трудно решается проблема зарастания сталеразливочного канала отложениями алюминатов кальция, для предупреждения образования которых необходимо строгое соблюдение соотношения концентраций, кальция, алюминия и активных примесей стали – кислорода, серы. Значительное снижение последних в металле требует определённых экономических затрат, связанных с проведением вакуумирования металла (цель которого также и удаление водорода), глубокой десульфурации расплава (до 10–30 ppm S).

Одним из нежелательных факторов является вторичное окисление стали. С одной стороны поступление кислорода в расплав может вызвать укрупнение НВ, что ведёт к росту скорости их удаления из расплава. С другой стороны кислород вторичного окисления, сорбируясь на активных центрах НВ, пассивирует эти выделения и они становятся не способными взаимодействовать с серой в ходе затвердевания металла.

Как правило, получаемые результаты по модифицированию химически активными элементами и их сплавами не стабильны и успех обработки стали каждой конкретной марки стали не поддаётся надёжному прогнозированию. Это происходит потому, что взаимодействие стали с легкоокисляющимися элементами представляет собой сложный многозвенный процесс, состоящий из десульфурации, раскисления, проявления поверхностных эффектов на границе раздела фаз, изменения физических свойств НВ. Механизм этого процесса не имеет достаточного научного объяснения. Кроме того, при длительной разливке (около 1 часа) в результате взаимодействия легкоокисляющихся присадок с футеровкой ковша и понижения их содержания в стали теряется модифицирующий эффект обработки, так как время, за которое происходит его потеря в зависимости от конкретных условий составляет не более 4–25 мин.

После рафинирования и доводки металла в ковше до окончания разливки плавки на непрерывные заготовки или слитки проходит до 2-х часов. При снижении температуры металла образуются новые НВ, происходит ликвация примесей расплава. После обработки металла модификатором большая часть первичных алюминатов кальция удаляется из расплава, тем самым значительно уменьшая количество центров сорбции серы при кристаллизации. Необходимо сокращать время между раскислением и модифицированием, либо принимать меры по защите металла от вторичного окисления. Иначе модифицирующий и микролегирующий эффект обработки металла химически активными реагентами нивелируется.

Зарубежной и отечественной практикой накоплен большой опыт применения высокоактивных лигатур для модифицирования стального и чугунного литья, а также высоколегированной стали, получаемых в электропечах малой ёмкости. Во избежание потерь легкоокисляющихся элементов обработку ими металла необходимо проводить как можно ближе к моменту затвердевания жидкого расплава, вплоть до помещения модифицирующих добавок в литейные формы.

Таким образом, перенесение операции обработки металла легкоокисляющимися компонентами стали из ковша на разливку (с подачей модификатора при непрерывной разливке – в промежуточный ковш, а лучше всего в кристаллизатор; при разливке на слитки – на струю стали, вытекающую

из сталеразливочного ковша в центровую) может повысить эффективность их воздействия на металл. Более высокие результаты присадки “полезных” добавок могут быть получены при максимальном приближении времени присадки к моменту начала затвердевания расплава.

Важной особенностью процесса модифицирования, проводимого непосредственно перед затвердеванием металла, является более глубокое влияние модификатора на качество готовой продукции. Это влияние, как правило, не ограничивается его действием на первичную структуру и свойства литого металла, но распространяется и на структуру, свойства и особенности фазовых превращений деформируемого и термически обработанного материала (изделия).

При введении добавок непосредственно перед затвердеванием в расплав минимально перегретый над температурой ликвидуса, дополнительно реализуется механизм инокулирования как за счёт ввода готовых (частиц железа в составе модификаторов) так и получения искусственных (оксидов, нитридов, карбонитридов) подложек, действующих в качестве зародышей в кристаллизующемся расплаве. При этом реагенты работают в металле не только как модификаторы НВ, но и как микролегирующие элементы, способные взаимодействовать с вредными примесями (водородом, цветными элементами), а также в ходе его термической обработки. В полной мере положительное влияние активной добавки реализуется той её частью (“эффективной”), которая будет находиться в твёрдом растворе в так называемом “чистом”, не окисленном состоянии, остающейся в металле после неизбежных потерь при вводе в жидкий металл. Именно с помощью этой части можно осуществить более глубокое воздействие на микроструктуру металла, чистоту границ зёрен, реализовать возможность образования соединений с цветными примесями, водородом и т.п.

Таким образом, условия затвердевания играют существенную роль в процессах захватывания, роста, агломерации и вторичного осаждения включений. Лишь наличие в кристаллизующемся растворе и уже затвердевшем металле свободного, не окисленного кальция (а также редкоземельных металлов и других растворяющихся в расплаве модификаторов) позволяет сформировать окисульфидные включения в одном генезисе, исключить возможность образования продуктов раскисления, располагающихся в строчки, снижающих качество металла.

Присадка реагентов в виде неординарных, комплексных сплавов также расширяет возможности этого метода. Использование для обработки стали многокомпонентных комплексных сплавов, содержащих не только широко используемый в настоящее время в практике производства стали кальций (в виде силикокальция), но и магний, барий, редкоземельные металлы, способствует повышению усвоения легкоокисляющихся элементов, сохранению в затвердевающем металле более высоких их концентраций, приводит к получению более высоких эффектов при обработке металла.

Применение, например, комбинации Са+Ва позволяет улучшать поверхность проката, комплекс Са + РЗМ - нейтрализовать вредные примеси (серу, водород, цветные металлы). Совместное модифицирование ШЗМ и РЗМ может улучшить свойства металла в большей степени, чем каждая из добавок в отдельности. Оксиды и сульфиды РЗМ тугоплавки, мелкодисперсны и трудно коагулируют. Скорость их всплывания невелика, поэтому для ускорения удаления из металла НВ при обработке РЗМ целесообразно вводить дополнительный элемент, тоже обладающий большим сродством к кислороду и сере, который участвовал бы вместе с РЗМ в формировании комплексных включений с более низкой температурой плавления и большей склонностью к коагуляции. Таким свойством обладает кальций.

Модифицирование сталей лигатурами, содержащими ШЗМ и РЗМ, во многих случаях можно рассматривать как альтернативу процессам рафинирования т.к. глубокая очистка стали от вредных примесей не всегда возможна, а модифицирование обеспечивает их существенную нейтрализацию.

Соединение положительных факторов (стабильное получение от плавки к плавке концентраций активных растворимых примесей в металле, достаточных для проведения не только модифицирования НВ, но и микролегирования закристаллизовавшегося металла. Регулирование условий кристаллизации за счёт устойчивого инокулирования кристаллизующего расплава) возможно при осуществлении введения комплекса активных растворимых и нерастворимых примесей в металл около температуры ликвидуса. Такие условия возникают лишь при обработке металла сложными, многокомпонентными реагентами в ходе его разлива. В этом случае минимизируются процессы, отрицательно влияющие на результаты обработки жидкого расплава, связанные с окислением добавок из-за длительности контакта прошедшего модифицирование металла с окислительными фазами.

Модифицирование металла - радикальный метод для улучшения качества стали. Обработка металла модификатором на разливе может использоваться в дополнение к внепечной обработке жидкого расплава в ковше или в виде самостоятельной технологической операции, применяемой в ходе разлива стали. Кумулятивное действие химического и физического факторов позволяет добиваться стабильных результатов по усвоению легкоокисляющихся добавок, по конечным показателям,

характеризующим качество металла. Особенно высока эффективность модифицирования на сталях, где скопления неметаллических включений сульфидного и оксидного происхождения (после деформации слитков располагающиеся в виде строчек) определяют эксплуатационные и потребительские свойства металлопродукции. После проведения обработки стали модификатором загрязнённость металла по самым “опасным”, строчечным оксидным включениям оценивается баллом 0-0,5 (редко 1,0 балла).

Роль модифицирования, микролегирования и инокулирования, выбор метода и места присадки реагента должна уточняться при конкретном производстве стали различного назначения. Изучение вопроса по выбору технологии присадки модифицирующих, легирующих добавок и устройств для осуществления этой операции показало, что приемлемым вариантом эффективным и в тоже время простого, не требующего значительных материальных затрат метода обработки металла является способ присадки добавок в струю стали с помощью аппарата-дозатора, навешиваемого на ковш и управляемого в ходе разливки стали вручную. При непрерывной разливке лучшие результаты даёт приём присадки добавок в кристаллизатор.

В настоящее время созданы предпосылки для широкого развития методов модифицирования металла в ходе разливки: техническая документация на аппаратуру (дозаторы), позволяющие вводить в металл точно дозируемое количество реагента, позволяющие обеспечить потребности как в мелко-измельчённых комплексных фракционированных материалах, так и порошковой проволоки с наполнителями любого состава. Обработка металла модификаторами и легирующими элементами в процессе разливки не требует сложного оборудования и может быть легко реализована в любом сталеплавильном цехе.

Литература.

1. Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И. Внепечные и ковшовые процессы обработки стали. Новокузнецк. 2006. 181 с.
2. Шуб Л.Г. Рекомендации по модифицированию стали // Сб. докладов Литейного консилиума №2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов» – Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007 – с. 120.
3. Неймарк В.Е. Модифицированный стальной слиток // М.: Металлургия, 1977 – с. 200.
4. Задиранов А.Н., Кац А.М.. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов // Издательство Российского Университета дружбы народов – с. 228.
5. Крещановский Н.С., Сидоренко М.Ф. Модифицирование стали // М.: Металлургия, 1970 – с. 296.
6. Носов Ю.Н., Гизатулин Р.А. Комплексная обработка стали алюминием и кальцием на выпуске из дуговой печи. // Электрометаллургия. 1999. № 4. с. 33-34.
7. Поволоцкий Д.Я. Концентрационные условия зарождения продуктов раскисления алюминия, титана, кремния в жидком железе. \ Д.Я. Поволоцкий, В.Е. Рошин, А.Д. Дрозин, Ю.В. Сорокин \ Изв. АН СССР. Металлы. 1977, № 2.
8. Коваленко С.В. Влияние металлического кальция и бария на дендритную структуру и неметаллические включения стали 20Л. \ С.В. Коваленко, В.И. Кучкин, В.С. Коваленко \ Изв. вузов ЧМ. 1990, № 12.
9. Бессонов В.Б. Влияние редкоземельных элементов на кристаллизацию стали. \ В.Б. Бессонов, Б.А. Буклан, В.А. Ефимов и др. \ Сб. Проблемы сталеного слитка, М. 1976.
10. Сучков А.Н. Роль неметаллических включений в процессах кристаллизации стали. \ А.Н. Сучков, А.В. Морев. \ Сб. Неметаллические включения и газы в литейных сплавах. Запорожье, 1979.
11. Боженко Ю.Е. Использование порошковой проволоки для микролегирования и модифицирования стали. \ Ю.Е. Боженко, С.П. Коршиков, И.П. Потапов, Н.В. Посемин \ Сталь, 2000, № 7.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШНЕКОВЫХ ЗАГОТОВОК

В.В. Васылькив, к.т.н., доц.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя,

46001, Украина, г. Тернополь, ул. Руська, 56, тел. 8 (0352) 25-74-54

E-mail: VasylykivV@rambler.ru

В современном машиностроении широко используют детали типа шнеков в качестве: рабочих органов винтовых смесителей, измельчителей, грануляторов, питателей, сепараторов, шнековых транспортеров и винтовых спусков в строительной, пищевой, перерабатывающей промышленности и сельскохозяйственном машиностроении; ребристых труб и винтовых элементов теплообменных аппаратов и систем воздушного охлаждения в нефтехимической, газовой, энергетической промышленности; винтовых свай, анкеров и буров в строительстве и других отраслях.

Основными общими конструктивными и технологическими признаками таких деталей является наличие витков, расположенных по винтовой поверхности в продольном направлении с большим шагом.

В структуре технологического процесса изготовления деталей типа шнеков ответственным и самым сложным этапом является образование винтовых (ВЗ) и шнековых заготовок (ШЗ). Понятия "Винтовые" и "Шнековые" заготовки применяют к полуфабрикатам, которые характеризуются винтовыми волокнами и наличием винтового тела, т.е. винтовыми поверхностями и винтовыми внешними и внутренними ребрами различных конфигураций и направления навивки. По конструктивному признаку ШЗ бывают цельными, когда витки шнеков выполнены за одно целое с валом, и сборными, в которых ВЗ, выполненная в форме винтообразной ленты, приварена ручной или автоматической сваркой к цельному или пустотелому валу (трубе) (рис. 1).

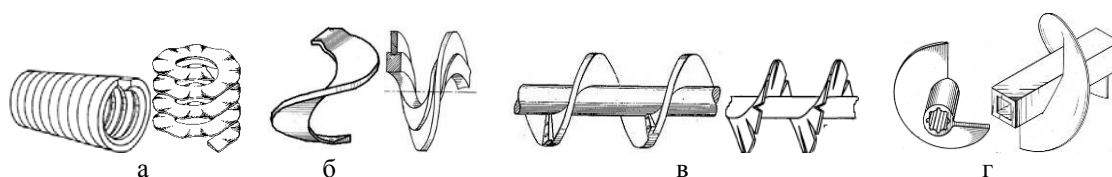


Рис. 1. Виды полуфабрикатов, используемых в производстве деталей типа шнеков:
а - длинномерные ВЗ, б - секционные ВЗ, в - длинномерные ШЗ, г - секционные ШЗ

К настоящему времени в технологии металлообработки сформировался значительный массив вариантов формообразования ВЗ и ШЗ способами литья металлов и сплавов, обработки резанием, сборки и обработки металлов давлением. Однако в ряде случаев их использование экономически и технологически нецелесообразно.

Одним из перспективных методов изготовления ВЗ и ШЗ является технология послойного синтеза (ТПС), известная на территории СНГ также под названиями "послойное наращивание", "прямое цифровое производство", "аддитивное производство", "технологические процессы быстрого прототипирования и производства", "формирование слоев наплавкой", "AF- или AM-технологии (аддитивные технологии)".

В современной литературе отсутствуют исследования, посвященные вопросу использования таких технологий при изготовлении ВЗ и ШЗ.

Для принятия решений по эффективному внедрению конкретной такой технологии необходимо знать области ее рационального применения и технологические возможности.

Целью исследования является изучение возможности изготовления ВЗ и ШЗ методом послойного синтеза на основе системного анализа существующих технологий с определением рациональных условий их применения.

Основным отличием ТПС от традиционных методов является то, что заготовка создается путем материализации компьютерной 3D модели с помощью информационной связи точным ее воспроизведением путем не деструкции, а послойного аддитивного наращивания физически связывающихся между собой слоев материала, расположенных снизу вверх, один над другим. При этом достаточно иметь трехмерную поверхностную или твердотельную модель детали, на основе которой с помощью инструмента будут последовательно сгенерированы данные поперечных сечений на поверхности емкости с исходным материалом.

В современном понимании идея способа генеративного (послойного) изготовления является объединяющей, интегрирующей процессы моделирования, создания инструментального обеспечения и изготовления. Их можно применять не только для прототипирования (Rapid Prototyping), как неотъемлемой части процесса конструирования, но и при получении оснастки и инструмента (Rapid Tooling), используемых в ТП и непосредственного синтеза окончательных функциональных серийных винтовых изделий (так званое прямое выращивание или Rapid Manufacturing, Direct Manufacturing) (рис. 2).

Основными критериями оценки и сравнения технологий послойного синтеза при изготовлении рассматриваемых заготовок является множество параметров:

$$K = \{ D, L, H_{\text{сmin}}, V, \delta, R_z, S_m, S_n, M, S_{\text{об}} \},$$

где D, L - диаметр и длина ВЗ или ШЗ; $H_{\text{сmin}}$ - толщина витка; V - скорость построения модели; $V = \{ V_1, V_2 \}$, V_1 - скорость синтеза слоя; V_2 - скорость перемещения слоя; δ - толщина наращиваемого слоя; R_z - параметр шероховатости винтовой поверхности; $S_m, S_n, S_{\text{об}}$ - стоимость модельно-

го (строительного) материала, материала поддержки и оборудования, M – марка модельного материала с соответствующим комплексом физико-механических свойств.

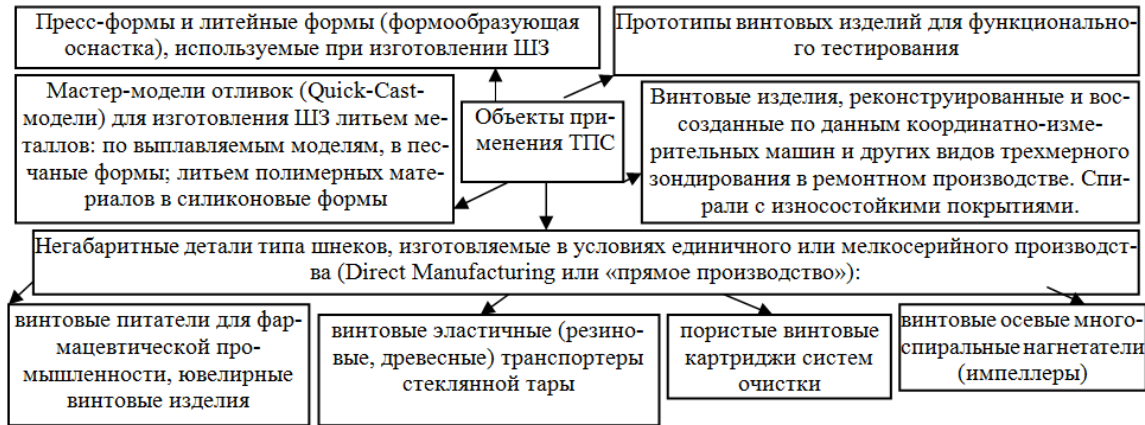


Рис. 2. Использование технологий послойного синтеза при изготовлении деталей типа шнеков

Диаметр внешней кромки витка и длина заготовки определяют значения охватывающей заготовку призмы, размеры которой соответствуют размерам “строительной камеры”. В зависимости от расположения ШЗ установлены граничные значения таких параметров (рис. 3) для разных видов технологий в соответствии с техническими возможностями используемого оборудования.

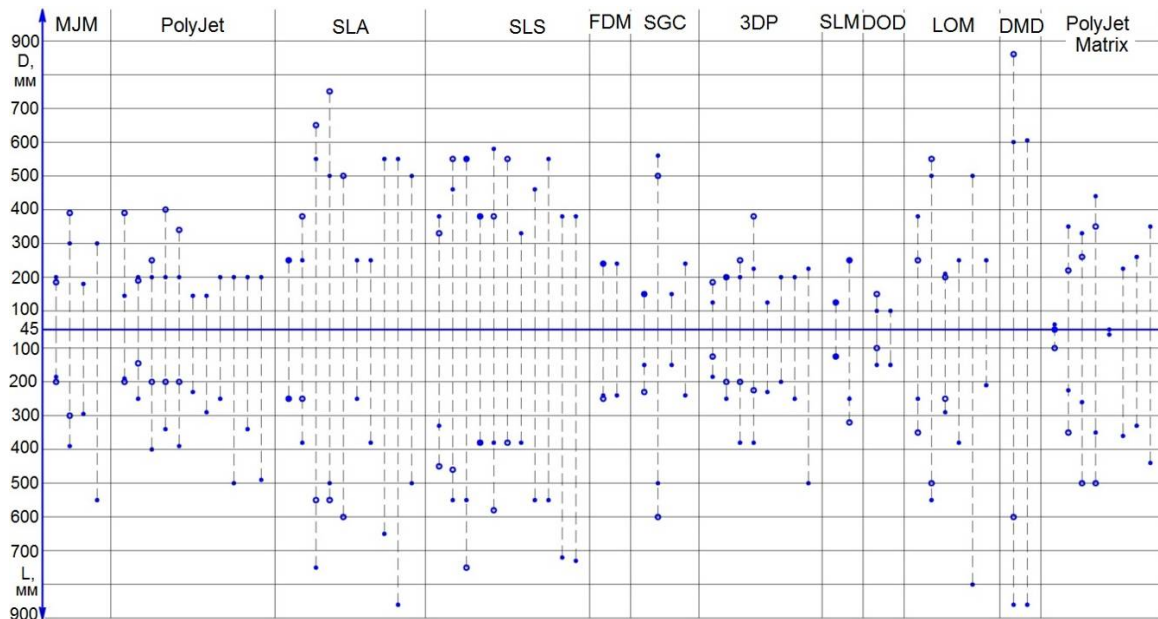


Рис. 3. Ряды групп предельных значений диаметра D и длины L ШЗ, которые можно изготавливать разными способами метода послойного синтеза при размещении заготовки:

● - горизонтально, ● - вертикально

Габаритные ШЗ необходимо выполнять комбинированными. При этом часть объема заготовки (в основном витка) целесообразно формировать способом послойного синтеза, а остальную часть (опорный вал или опорную ШЗ) заранее изготавливать другим методом. Примером является формообразование секционной ШЗ с помощью теплового воздействия лазерного излучения на полимерную суспензию, в которой размещают заранее изготовленную опорную часть винтовой спирали, выполненную в виде ШЗ. При реализации SLA и MJM процессов для образования качественных витков ШЗ необходимо использовать специальные внешние технологические поддержки и внутренние переборки, предохраняющие свежестроенные тонкие слои модели от обрушения. В случае изготов-

лении ШЗ способом SLS в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведется в однородной массе. Изготовление же ВЗ связано с проблемой прогиба витков при формировании спирали. Учитывая сложность системы поддержек, которые должны устойчиво удерживать послойно выращиваемое винтовое изделие во время изготовления от возможных наклонов, смещений и опрокидывания, изготовление ВЗ таким методом нецелесообразно.

Скорость построения модели определяется выбранной схемой формообразования ШЗ (рис. 4) и технологическими возможностями используемого оборудования. Для реализации процесса используют специальное генеративное устройство, называемое фабрикаторм (Fabricator или Fabber) или технологическим модулем. Когда речь идет о прототипах, применяют понятие прототайпер (Prototyper). Обобщенная структура технологического модуля, необходимого для изготовления ШЗ изображена рис. 5, а структурная схема его компоновки – на рис. 6.

При изготовлении ШЗ возможны три варианта технологий их формообразования:

Контуры слоев очерчиваются в плоскости X-Y перпендикулярной (рис. 4 а), или параллельной (рис. 4 б) до продольной оси заготовки, а третий размер по Z-координате реализуется за счет соединения слоев, т. е. Z-координата не является непрерывной.

Контуры слоев очерчиваются на винтовой поверхности в результате соответственно заданных скоростях вращения и продольного перемещения заготовки, а третий размер по радиальной координате и формообразование реализуется за счет продольно-вертикального перемещения материалоподающего устройства (МПУ) и соединения винтовых слоев, расположенных на винтовых поверхностях (рис. 4 в). Для получения спирали с криволинейным профилем поперечного сечения необходимо подавать материал на вращающуюся и перемещающуюся равномерно ось с МПУ, перемещающегося в противоположном перемещению оси направлении. При этом МПУ последовательно перемещается вдоль и перпендикулярно оси, описывая траекторию, отвечающую заданной кривой дуге окружности, части параболы, эллипса, прямой и т.д. (рис. 4 г). После наращивания одного слоя ось возвращается в исходное положение и наращивается следующий слой материала и т.д. до тех пор, пока не образуется винтовая поверхность нужного диаметра. Так получается цельная винтовая поверхность с постоянным шагом витка и прямолинейным профилем. Если необходимо изготовить спираль с переменным шагом витка, например, увеличивающимся в одном направлении, то вращающуюся ось, или материалоподающее устройство следует перемещать не равномерно, а ускоренно.

Таким образом, в радиальном или Z-направлении объем ШЗ формируется ступенчато. Поэтому в направлении Z поверхность формируется тем точнее, чем меньше толщина слоев.

В настоящее время имеющиеся установки обеспечивают толщину слоев δ в пределах от 0,025 мм до нескольких сантиметров (методы наплавки).

Повышение производительности формообразования ШЗ реализуется путем послойного синтеза материала на вращающемся опорном элементе. При этом, используя теорию Врагова Ю.Д., структурная формула компоновки необходимого технологического модуля (рис. 5) для изготовления ШЗ имеет вид

$$(ub + w + t + a^*z)O(XY + PV).$$

Однако в существующих конструкциях оборудования не предусмотрено размещение опорного элемента на технологической плите и, следовательно, отсутствие движения a^* . Поэтому модернизация такого оборудования с целью реализации возможностей дополнительных движений опорной плиты и установленных на ней опорных элементов позволит существенно расширить технологические возможности рассматриваемой технологии.

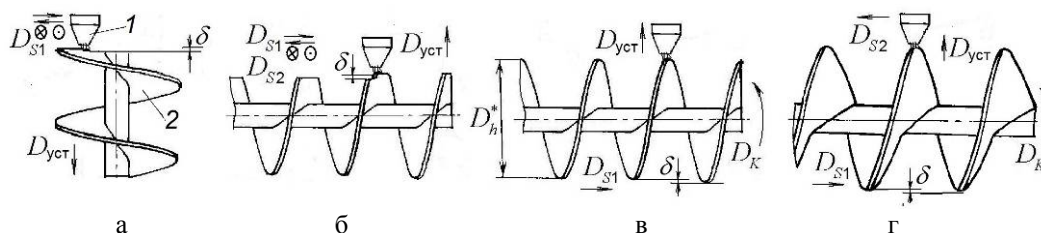


Рис. 4. Принципиальные схемы процесса формообразования ШЗ методом послойного синтеза:
 D_h^* - изменяющийся диаметр внешней кромки витка, 1 – МПУ, 2 - ШЗ

В соответствии с данными проф. А.И. Грабченко все способы формообразования по возрастанию шероховатости можно расположить в следующем ряду в диапазоне до $\approx 100\mu\text{мк}$:

$$R_{Z\text{SLA-}\Phi} \Rightarrow R_{Z\text{SLA-C}} \Rightarrow R_{Z\text{MO}} \Rightarrow R_{Z\text{ЭРО}} \Rightarrow R_{Z\text{SLS}} \Rightarrow R_{Z\text{FDM}},$$

где $R_{Z\text{SLA-}\Phi}$ – шероховатость после стереолитографии с финишной доработкой; $R_{Z\text{SLA-C}}$ – шероховатость после стереолитографии со стандартной обработкой; $R_{Z\text{MO}}$ – шероховатость после механической обработки; $R_{Z\text{ЭРО}}$ – шероховатость поверхности после электроэрозионной обработки; $R_{Z\text{SLS}}$ – шероховатость поверхности после селективного лазерного спекания; $R_{Z\text{FDM}}$ – шероховатость поверхности после моделирования оплавлением.

Винтовые поверхности полимерных ШЗ, полученных способом стереолитографии, имеют существенно более низкую шероховатость, чем после LOM и FDM, где она примерно одинакова. Важно, что в SLA-технологиях поверхность по критерию R_z приближается, а по критерию R_a практически совпадает со значением шероховатости после фрезерования и даже шлифования.

Значительно изменяют шероховатость методы модификации материала поверхностного слоя ШЗ - имплантация, покрытия, металлизация, лазерное упрочнение и т. д., или субтрактивные технологии (обработка полученных ШЗ на 3-х или 5-ти осевых фрезерных станках с ЧПУ, финишная механическая обработка - полировка, доводка, точение, шлифование).

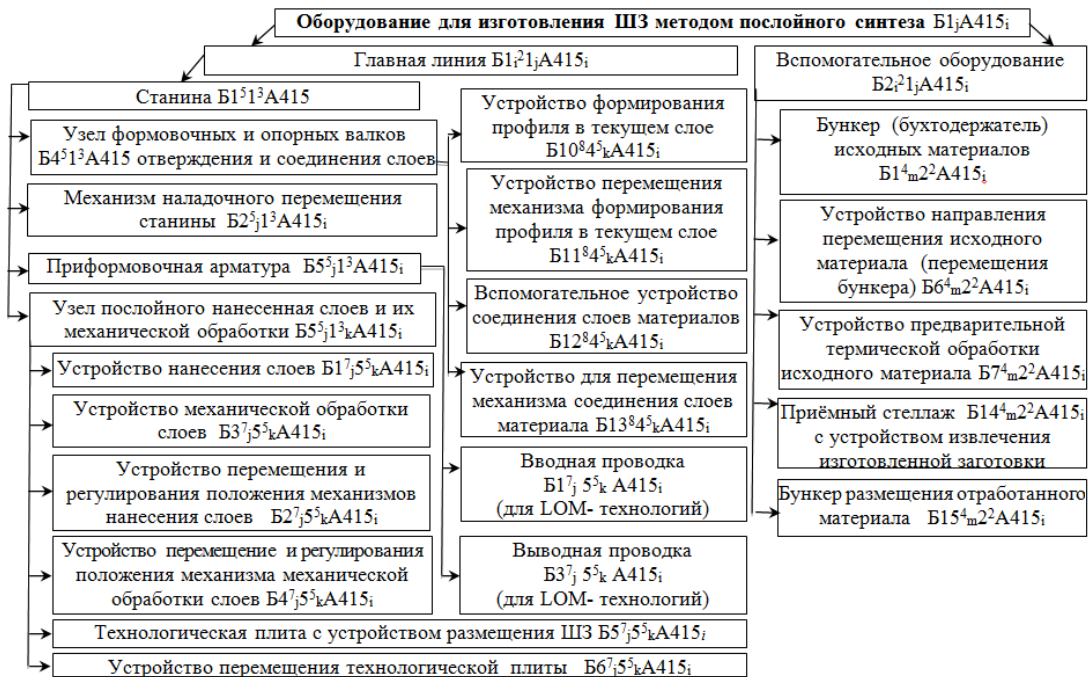


Рис. 5. Структура технологического модуля для изготовления ШЗ методом послойного синтеза

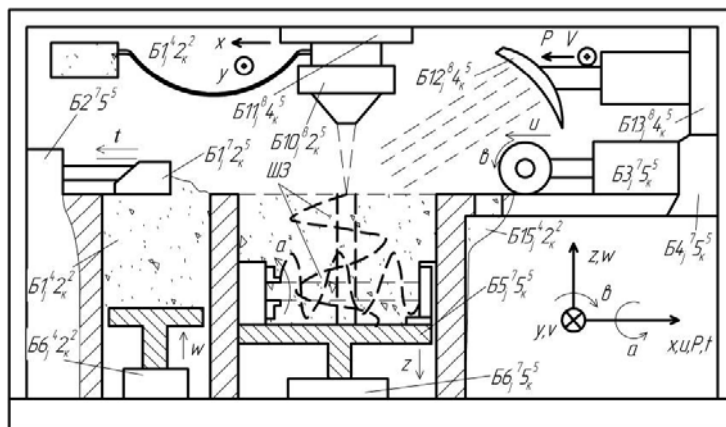


Рис. 6. Принципиальная схема технологического модуля для изготовления ШЗ

Широкое использование ТПС при изготовлении ШЗ затруднено вследствие значительной стоимости используемых материалов, особенно фотомономеров (килограмм состава стоит от 60 до 700 евро), которые в СНГ практически не производят. Кроме того рынок таких материалов умеренно фрагментирован, и присутствующие на нем компании ориентированы на географическую экспансию. 3D Systems Inc. (США), Stratasys Ltd. (США), Arcam AB (Швеция) и ExOne GmbH (Германия) захватили приблизительно 75% доли на рынке в производстве и поставке необходимых материалов.

Применимыми для изготовления ШЗ являются металлопорошковые композиции: инструментальные стали (типа H13, CL 91RW), мартенситностареющие стали (типа 18%NiMaraging, CL 50/60WS), нержавеющие стали (316L, 1.4404), алюминиевые сплавы (AlSi10Mg, AlSi12), сплавы CoCr, жаропрочные стали (Inconel 625 и 718 и др.). Такие материалы используются в технологиях SLM, EBM. Сравнительно низкой стоимостью отличаются термопластические полимерные материалы. Но проблемой широкого применения технологий является то, что разные компании-производители предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой этой компанией. Фирменное обозначение материалов усложняет возможности получения ШЗ с идентичными механическими свойствами.

Поэтому существует необходимость стандартизации материалов для рассматриваемых технологий. В настоящее время разработан только один стандарт (ASTM F) на материал Ti6Al для применения в процессе Powder Bed Fusion. Но его использование в технологиях изготовления ШЗ нецелесообразно с экономических соображений. Кроме того современные методы, применяемые для оценки свойств материалов для традиционных технологий, не могут быть применены к аддитивным технологиям в силу наличия анизотропии, неизбежной при послойном принципе создания изделия.

Однако современные рыночные предложения материалов могут обеспечивать прочность ШЗ, сопоставимой с прочностью, получаемой традиционными методами. Например, прочность фотополимерных композитов может достигать 300МПа, что сравнимо с прочностью ШЗ, полученных методом порошковой металлургии. Например, технология SLS (селективное послойное лазерное спекание) при инфильтрации обеспечивает получение винтового изделия из материала, состоящего на 60-70% из стали и на остальные 40-30% из бронзы, который своими механическими характеристиками превосходит алюминий и приближается к нержавеющей стали.

Широкое использование термопластов, таких как полиэтилен, полипропилен, полиамид, полистирол, поливинилхлорид (с высокой пластичностью) предоставляет возможности вторичной переработки и получения вторсырья, а также изготовления ШЗ винтовых транспортных механизмов разного функционального назначения.

В частности наиболее перспективными материалами для изготовления ШЗ являются поликарбонатные материалы (PC, PC-ISO, PC-ABS), термоэластопласты (TPEL, TPE, TE, TR, NinjaFlex), полилактид (PLA), полиамидные (нейлоновые) материалы марок FDM Nylon 12, Taulman 618, Dura Form PA, PA-2200, Dura Form GF, полиамид-6 (ПА 6-210/310), полиамид-12, полиамид-66, полиамид-610, полистирол (стирофлекс) марок ПСМ-115, ПСМ-151, ПСС (могут встречаться и другие обозначения: PS, GPPS, PS-GP, XPS, Crystal PS, УП, УПС, PS-HI, PS-I, MIPS, IPS, SHIPS, HIPS-пластик (High Impact Polystyrene)), а также такие сополимеры стирола как ABS (АБС-пластик), ABS Plus, ABS M30, ABS M30i, ABS-ESD7, Accura ABS White (SL 7810), BendLay (модифицированный ABS), Objet ABS с добавлением RGD5160-DM, RGD535, Objet RGD515.

На современном рынке наименьшую стоимость имеют прототайперы, используемые при концептуальном дизайне. Стоимость таких систем начинается с 30000 евро. Наиболее дорогие – производственно-ориентированные фабрикатеры, стоимостью около 800000 евро.

Для изготовления ШЗ могут использоваться различные способы послойного синтеза SLS, BPM, FDM, MJM, SLS, LOM, SLA, при этом такие процессы как SLS, FDM, SLPR обеспечивают изготовление винтовых изделий на уровне конечного продукта. В частности технология SLA, позволяет изготавливать ШЗ с максимальный весом $m_s=9-75$ кг и производительностью $\Pi=10-20$ мм/час, скоростью построения $v_s=0,635-9$ м/с. Процесс SLS обеспечивает получение ШЗ из нержавеющей стали и полиамида с $1\text{мм} < H_{\text{min}} < 1,5\text{мм}$ при $\Pi=12-25$ мм/час. Способ FDM характеризуется производительностью $\Pi=380$ мм/сек, а способ SGC обеспечивает $\Pi=426$ см³/час, $H_{\text{min}}=0,5$ мм. $v_s=120$ с/слой. А изготовление секционной ШЗ с $D=45$ мм, $L=25$ мм и шириной витка $B=15$ мм (материал - In718) с помощью технологии селективного лазерного сплавления занимает 3 часа. При этом время подготовки управляющей программы составляет 30 мин. При изготовлении ШЗ из $D=76$ мм,

$L=85$ мм время подготовки управляющей программы составляет 1 час, а время изготовления: 26 часов 50 мин (расход материала: 730гр.).

Рассмотренные технологии могут быть эффективно использованы при изготовлении пенополистироловых моделей отливок для производства ШЗ литьем металлов (особенно нержавеющей стали) по газифицируемым моделям.

Применение аддитивных технологий позволяет изготавливать ШЗ с характеристиками, недоступными для других методов изготовления (например, с криволинейными отверстиями или внутренними пустотами или с полыми витками с внутренними ребрами жесткости, изготовление которых другими методами технологически сложно.). Это позволяет снизить массу винтовых изделий до 50%. Существуют возможности выращивания ШЗ из градиентных материалов с переменными по толщине витка свойствами.

Однако широкое использование таких технологий в промышленных масштабах при изготовлении ШЗ в условиях единичного и мелкосерийного производства является недалёкой перспективой.

Заключение. В результате исследования рассмотрены технологические способы изготовления ВЗ и ШЗ методом послойного синтеза, освещены области их применения и характеристики, отмечены пути развития и совершенствования.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ХРАПОВЫХ ЗУБЬЕВ

О.В. Шарков, д.т.н., проф., С.И. Корягин, д.т.н., проф., Н.Л. Великанов, д.т.н., проф.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта

236041, г. Калининград ул. А.Невского 14, тел. (4012)-33-82-84

E-mail: o_sharkov@mail.ru, skoryagin@kantiana.ru, nvelikanov@kantiana.ru

Введение

Храповое зацепление находит применение в различных механизмах для передачи нагрузки нормальными силами [1-5]. Например, в эксцентриковых механизмах свободного хода нефрикционного типа применяют зацепление с модулем $m_t=0,3-1,0$ мм.

При проектировании эксцентриковых механизмов свободного хода важным является вопрос расчета геометрических параметров профиля храповых зубьев, которые являются основными рабочими элементами данных механизмов. Профиль зубьев для эксцентриковых МСХ нефрикционного типа выбирают с учетом двух основных критериев: технологичности изготовления и работоспособности зубчатого зацепления при передаче больших нагрузок.

Нагрузочную способность эксцентриковых МСХ нефрикционного типа можно повысить, используя мелко модульные храповые зубья нового профиля, обеспечивающего их контакт в зацеплении по плоским поверхностям.

Современные методы, используемые для проектирования эвольвентных и храповых зубчатых профилей [6-10], не могут быть применены к храповым зубьям эксцентриковых МСХ нефрикционного типа вследствие особенности их геометрии.

Расчетная схема.

В качестве исходных данных для расчета геометрических параметров профиля мелко модульных храповых зубьев принимаем: r_{f1} , r_{f2} – радиусы окружностей ножек внешних и внутренних храповых зубьев; γ_1 – угол наклона передней кромки храповых зубьев.

Теоретическую высоту храповых зубьев принимаем равной модулю m_t и находим как $H_t = r_{f2} - r_{f1}$. Окружной и угловой шаг храповых зубьев определяют как $p_t = \pi m_t$ и $\tau = 180 m_t / r_{f1}$.

Теоретический профиль храпового зуба (Рис. 1) задается положением точек A , B и C в системе координат xOy . Координаты точек A и C определяются зависимостями: $X_A = 0$; $Y_A = r_{f1}$; $X_C = r_{f1} \sin \tau$; $Y_C = r_{f1} \cos \tau$.

Координаты точки B соответствуют координатам точки пересечения прямой AB и окружности радиуса r_{f2} . Таким образом, для координат точки B справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} Y_B = X_B \operatorname{tg}(90 - \gamma_1) + r_{f1}; \\ Y_B^2 + X_B^2 = r_{f2}^2. \end{cases} \quad (1)$$

После решения системы уравнений (1) будем иметь

$$X_B = \left(\sqrt{r_{f2}^2 - r_{f1}^2 \sin^2 \gamma_1} - r_{f1} \cos \gamma_1 \right) \sin \gamma_1; \quad (2)$$

$$Y_B = \left(\sqrt{r_{f2}^2 - r_{f1}^2 \sin^2 \gamma_1} - r_{f1} \cos \gamma_1 \right) \sin \alpha \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + r_{f1}. \quad (3)$$

Используя решение системы уравнений (1) с учетом $r_{f2} = r_{f1} + H_t$ получаем выражения для определения положения точки B в системе координат xOy :

$$\begin{cases} X_B = \left(\sqrt{r_{f1}^2 \cos^2 \gamma_1 + 2r_{f1}H_t + H_t^2} - r_{f1} \cos \gamma_1 \right) \sin \gamma_1; \\ Y_B = \left(\sqrt{r_{f1}^2 \cos^2 \gamma_1 + 2r_{f1}H_t + H_t^2} - r_{f1} \cos \gamma_1 \right) \cos \gamma_1 + r_{f1}. \end{cases} \quad (4)$$

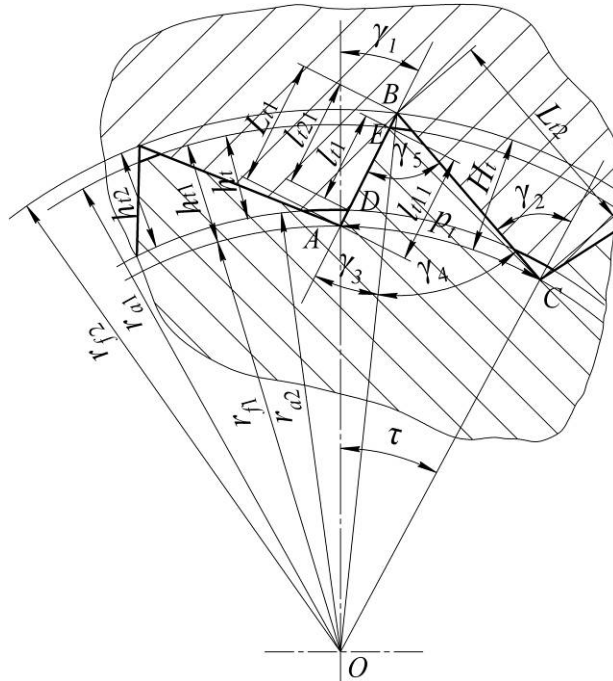


Рис. 1. Расчетная схема мелкозубчатого храпового зацепления

Теоретическая длина передней и задней кромки профиля зубьев.

Определим теоретическую длину передней кромки храповых зубьев L_{t1} как

$$L_{t1} = |AB| = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}; \quad (5)$$

$$L_{t1} = \left(\sqrt{r_{f1}^2 \cos^2 \gamma_1 + 2r_{f1}H_t + H_t^2} - r_{f1} \cos \gamma_1 \right)^2 (\sin^2 \gamma_1 + \cos^2 \gamma_1). \quad (6)$$

С учетом $H_t = m_t$ запишем

$$L_{t1} = \sqrt{r_{f1}^2 \cos^2 \gamma_1 + 2r_{f1}m_t + m_t^2} - r_{f1} \cos \gamma_1. \quad (7)$$

Определим теоретическую длину передней кромки храповых зубьев L_{t2} как

$$L_{t2} = |BC| = \sqrt{(X_B - X_C)^2 + (Y_B - Y_C)^2}; \quad (8)$$

$$L_{t2} = \sqrt{(L_{t1} \sin \gamma_1 - r_{f1} \sin \tau)^2 + [L_{t1} \cos \gamma_1 + r_{f1}(1 - \cos \tau)]^2}. \quad (9)$$

Окончательно получаем

$$L_{t2} = \sqrt{L_{t1}^2 + 2r_{f1}^2(1 - \cos \tau) + 2r_{f1}L_{t1}[\cos \gamma_1 - \cos(\tau - \gamma_1)]}. \quad (10)$$

При расчете храпового зацепления следует учитывать, что кроме прямолинейных участков профиля передней кромки внешнего l_{t11} и внутреннего l_{t21} храповых зубьев будет иметь место некоторые криволинейные переходные поверхности. Контакт зубьев по криволинейным поверхностям должен быть исключен.

Длины прямолинейных участков зависят от геометрических параметров зацепления и режущего инструмента для их изготовления.

Длину участка контакта передних кромок внешнего и внутреннего храповых зубьев можно определить как

$$l_{t1} = l_{t11} + l_{t21} - L_{t1}. \quad (11)$$

Радиус окружности вершин внешних храповых зубьев определяем из треугольника OAE по теореме косинусов как

$$r_{a1} = \sqrt{r_{f1}^2 + l_{t11}^2 - 2r_{f1}l_{t11} \cos(180 - \gamma_1)} \quad (12)$$

Радиус окружности вершин внутренних храповых зубьев определяем из треугольника OAD по теореме косинусов как

$$r_{a2} = \sqrt{r_{f1}^2 + (L_{t1} - l_{t21})^2 - 2r_{f1}(L_{t1} - l_{t21}) \cos(180 - \gamma_1)}. \quad (13)$$

Высоту внешнего и внутреннего храповых зубьев определяем по формулам:

$$h_{t1} = r_{a1} - r_{f1}, \quad (14)$$

$$h_{t2} = r_{f2} - r_{a2}. \quad (15)$$

Тогда рабочую высоту храповых зубьев можно определить как

$$h_t = r_{a1} - r_{a2}. \quad (16)$$

Углы теоретического профиля зуба.

Далее получим выражения для определения углов, характеризующих теоретический профиль храповых зубьев. Определим угол наклона γ_2 задней кромки зубьев к радиальной прямой. Из треугольника OBC по теореме косинусов будем иметь:

$$\cos(180 - \gamma_2) = \frac{|OC|^2 + |BC|^2 - |OB|^2}{2|OC||BC|} = \frac{r_{f1}^2 + L_{t2}^2 - r_{f2}^2}{2r_{f1}L_{t2}}. \quad (17)$$

Тогда формулу для определения угла наклона γ_2 запишем в форме

$$\gamma_2 = 180 - \arccos\left(\frac{L_{t2}^2 - 2r_{f1}m_t - m_t^2}{2r_{f1}L_{t2}}\right). \quad (18)$$

Определим углы γ_3 и γ_4 , характеризующие координаты точки B . Углы γ_3 и γ_4 определяем из треугольников OAB и OBC по теореме синусов: $\frac{r_{f1}}{\sin \gamma_3} = \frac{r_{f2}}{\sin(180 - \gamma_1)}$ и $\frac{r_{f1}}{\sin \gamma_4} = \frac{r_{f2}}{\sin(180 - \gamma_2)}$.

Тогда:

$$\gamma_3 = \arcsin\left(\frac{r_{f1} \sin \gamma_1}{r_{f2}}\right), \quad (19)$$

$$\gamma_4 = \arcsin\left(\frac{r_{f1} \sin \gamma_2}{r_{f2}}\right). \quad (20)$$

Определим угол заострения храповых зубьев γ_5 . Из треугольника OAC по теореме косинусов имеем $|AC|^2 = |OA|^2 + |OC|^2 - 2|OA||OC| \cos \tau$ или $|AC|^2 = 2r_{f1}^2(1 - \cos \tau)$. Из треугольника ABC по теореме косинусов имеем $|AC|^2 = |AB|^2 + |BC|^2 - 2|AB||BC| \cos \gamma_5$. Тогда:

$$\cos \gamma_5 = \frac{L_{t1}^2 + L_{t2}^2 - 2r_{f1}^2(1 - \cos \tau)}{2L_{t1}L_{t2}} \quad (21)$$

Подставив зависимость (4) в выражение (21) получим формулу

$$\gamma_5 = \arccos \frac{L_{t1} + r_{f1}[\cos \gamma_1 - \cos(\tau - \gamma_1)]}{L_{t1}} \quad (22)$$

Численные результаты и обсуждение.

Передняя и задняя кромки являются основными рабочими поверхностями, определяющими нагрузочную способность мелко модульного храпового зацепления.

Влияние модуля m_t и угла наклона γ_1 на теоретическую длину передней L_{t1} и задней кромки L_{t2} показано на рис. 2. Исходными данными для расчетов приняты: $r_{f1}=30$ mm; $\tau=3^\circ$; $m_t=0,3-0,6$ mm; $\gamma_1=0-30^\circ$.

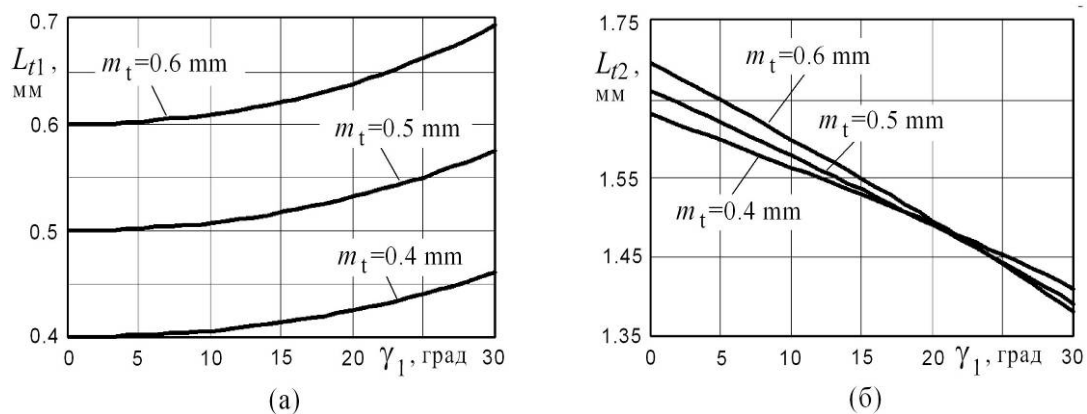


Рис. 2. Влияние модуля и угла наклона на теоретическую длину передней (а) и задней (б) кромок

Увеличение модуля m_t приводит к линейному росту (в 1,5 раза) теоретической длины передней кромки L_{t1} и мало влияет на теоретическую длину задней кромки L_{t2} .

Увеличение угла наклона γ_1 приводит к некоторому нелинейному росту (в 1,14-1,15 раза) теоретической длины передней кромки L_{t1} и некоторому уменьшению (1,16-1,22 раза) теоретической длины задней кромки L_{t2} .

Заключение.

Предложенное мелко модульное храповое зацепление имеет контакт по обеим рабочим поверхностям – передней и задней кромки зубьев. Контакт между внешними и внутренними храповыми зубьями происходит по плоским поверхностям, образованным прямолинейными участками их профилей. Это обеспечивает повышение нагрузочной способности и долговечности храпового зацепления.

Определение основных геометрических параметров храповых зубьев можно проводить по полученным формулам (7), (10)-(16), (18)-(20) и (15). Методы изготовления храповых зубьев предлагаемого профиля будут рассмотрены в следующей статье.

Литература.

1. Soong R.C., Wu S.L., Lee J.M. An electric wheelchair with function of climbing up and down a step // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 479-480. – P. 304-308.
2. Phuc H.P., Dzung V.D. A micro gearing system based on a ratchet mechanism and electrostatic actuation // Microsystem Technologies. – 2013. – № 19(2). – P. 261-267.
3. Ho T., Lee S. Design of a piezoelectrically actuated jumping robot // Advanced Materials Research. – 2011. – № 311-313. – P. 2211-2214.
4. Bondaletov V.P. Ratchet mechanisms for high-speed transmissions // Russian Engineering Research. – 2008. – № 28(9). – P. 845-848.
5. Sclater N., Chironis N.P. Mechanisms and mechanical devices sourcebook. – New York: McGraw Hill Professional, 2006. – 512 p.

6. Xiaoxia C., Yusheng L., Jingzhong X., Shuzhong L., Wei X., The parametric design of double-circular-arc tooth profile and its influence on the functional backlash of harmonic drive // Mechanism and Machine Theory. – 2014. – № 73. – P. 1-24.
7. Yi W.C., Wang B.Y., He S., Tooth profile generation of point-contact involute planetary gear drive with small teeth difference // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 441. – P. 561-567.
8. Fetvacı C. Computerised tooth profile generation of conjugated involute internal gears // Key Engineering Materials. – 2014. – № 572(1). – P. 355-358.
9. Lin C., Zhang L., Zhang Z., Transmission theory and tooth surface solution of a new type of non-circular bevel gears // Jixie Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2014. – № 50(13). – P. 66-72.
10. Radzevich S.P. Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis. – Boca Raton: CRC Press, 2012. – 786 p.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОШИВКИ
ОХЛАЖДАЮЩИХ ОТВЕРСТИЙ ЛОПАТОК ТУРБИН НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СТАНКА С ЧПУ**

*В.Ф. Макаров, д.т.н., проф., А.В. Григорьева, магистрант, Р.А. Туранский, магистрант
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, г. Пермь, ул. Ленина, 29, тел. (342) 219-82-36
E-mail: makarovv@pstu.ru*

Лопатки газотурбинных двигателей являются наиболее нагруженными деталями, определяющими ресурс, трудоемкость и стоимость двигателя. Число лопаток в современных двигателях достигает 2...3,5 тыс. штук, поэтому их изготовление производится в условиях крупносерийного или массового производства.

Ресурс лопаток двигателей военной авиации – 500...1000 ч., а для гражданской авиации – 10...20 тыс.ч. Стоимость и трудоемкость изготовления комплекта лопаток составляет 20...35% от общей стоимости и трудоемкости двигателя.

Современные охлаждаемые лопатки ТВД, как рабочая, так и сопловая, имеют чрезвычайно сложную и развитую систему охлаждения, состоящую из внутренней полости, разделяемой перегородками, штырьков, турбулизаторов, а также отверстий, выходящих в проточную часть ГВТ.

В механическом производстве наибольшую трудоёмкость составляет изготовление отверстий перфорации (отверстия малого диаметра от 0,4 мм до 1 мм с допуском на диаметр от 0,05 мм до 0,1 мм). В одной лопатке насчитывается до 400 охлаждающих отверстий. Отверстия расположены под острыми углами к обрабатываемой поверхности и достигают глубин до 20 диаметров.

Эти отверстия получают разными способами (сверление свёрлами малого диаметра, лазерным лучом, электрохимическая обработка, электроэрозионная обработка и др.). Наибольшее распространение получил метод ЭЭО, так как он обеспечивает наилучшие параметры отверстия. Однако, в последнее время изготовление отверстий осложняется применением дополнительного термобарьерного керамического покрытия. Это покрытие толщиной 0,1 – 0,3 мм является диэлектриком, в связи с этим становится невозможным применение электроэрозионной прошивки в чистом виде. Кроме того, процесс изготовления отверстий в лопатках очень трудоёмкий. Связано это с применением устаревших станков Троицкого станкостроительного завода, на которых сейчас в основном и прошивают отверстия на моторостроительных предприятиях. Отверстия разделены на группы (ряды). Обработка отверстий ведётся вертикально. Каждая группа отверстий обрабатывается в отдельном приспособлении. [1]

Производится одновременная обработка группы отверстий (до 20) электродами-инструментами (электродами) соответствующего количества, закреплённых в державке. Electroды направляются через отверстия в кондукторной планке, ориентированной относительно приспособления. Глубина обработки задаётся для группы отверстий одинаковая, наиболее глубокая. Минусы данной технологии в том, что много времени тратится на установку детали, и на переустановку. Так же, когда гребёнка электродов опускается и прожигает отверстия, износ электрод-инструмента идёт не равномерно, из – за этого приходится останавливать обработку, поднимать электроды и выравнивать их. Так же для разных отверстий приходится вручную переустанавливать электроды. На обработку требуется большое количество специальной оснастки.[2]

Для оснащения одного наименования лопатки количество шифров оснастки, применяемой при электроэрозионной обработке отверстий, может достигать до 40-50 штук. Кроме того, электроэрозионное оборудование указанных моделей имеет далеко не самые совершенные генераторы. При обработке от этих генераторов образуется значительный измененный слой, в котором могут зародиться недопустимые трещины.

Применяемые для изготовления отверстий традиционные схемы обработки (обработка отверстий рядами или группами с параллельными осями) не могут быть использованы для обработки лопаток новой конструкции, где требуется располагать каждое отверстие под индивидуальным углом для обеспечения оптимальной работы системы охлаждения лопатки. Такое конструктивное исполнение отверстий значительно увеличивает количество необходимой оснастки (установочных приспособлений требуется в соответствии с количеством обрабатываемых отверстий) и время обработки.[3]

Кроме того, термобарьерное покрытие наносится на лопатку с уже готовыми отверстиями. Все отверстия, полученные с большими усилиями, забиваются, следовательно, не происходит охлаждение лопатки. Отверстия необходимо снова расчищать. Для этого их несут на слесарный участок, где «расковыривают». Это ещё одна дополнительная малопроизводительная операция при обработке охлаждающих отверстий лопаток турбин. После всех этих процедур расход воздуха через лопатку зачастую оказывается недостаточным для её охлаждения.

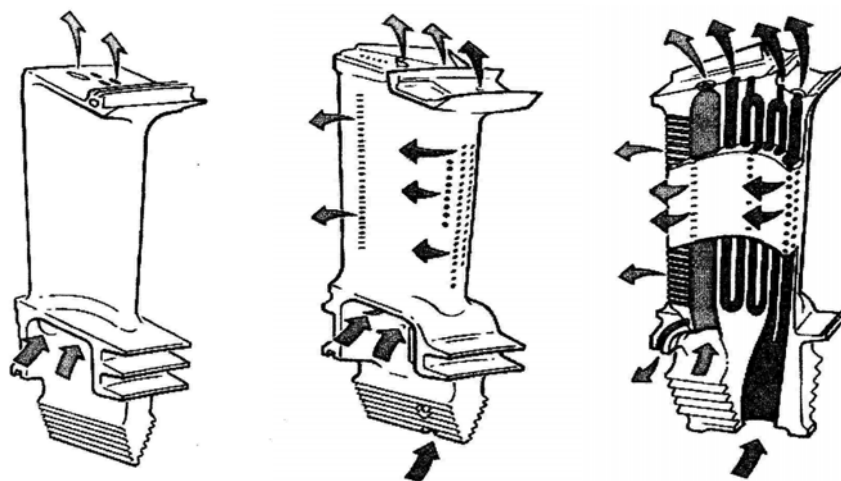


Рис. 1. Схема охлаждения лопаток, внутренняя полость лопатки

При производстве новых двигателей (ПД-14, SaM146) наблюдается тенденция применения прецизионных сложнопрофильных тонкостенных лопаток из титановых сплавов (BT6, BT8M) и жаропрочных сталей (ЭП-718, ЭИ-787) 1 класса точности, в которых отклонения координат точек профиля должно быть не более $\pm 0,02$ мм. [4]

Актуальность работы связана с необходимостью высокопроизводительного изготовления лопаток существующих и перспективных изделий с повышенной точностью, качеством поверхностного слоя и эксплуатационными характеристиками.

Новый метод обработки заключается в совмещении струйной электроэрозионной обработки и лазерной обработки. [5]

Струйная электроэрозионная обработка (он же метод высокоскоростного сверления) заключается в ЭЭО вращающимся (или неподвижным) трубчатым капиллярным электродом-инструментом (ЭИ), через внутреннюю полость которого прокачивается рабочая жидкость (РЖ) под большим давлением (80-100 Бар) В качестве РЖ может применяться дистиллированная (деионизированная) вода или специальная жидкость. Импульсы напряжения на электроды подаются от специального генератора. Это обеспечит лучшее вымывание шлама из обрабатываемого отверстия, за счёт этого уменьшится изменённый слой в отверстии, а значит и уменьшится вероятность зарождения трещин в изменённом слое. Лазер планируется использовать для испарения участков керамического термобарьерного покрытия, открывая металл для дальнейшей ЭЭО отверстий на всю длину методом электроэрозионного сверления. Применение лазера при удалении поверхностного слоя поможет сформировать в нём специальные трёхмерные диффузоры, которые увеличат расход воздуха через лопатку. Таким

образом отверстия с улучшенными параметрами поверхностного слоя и формы будут перфорируются после того, как на лопатку нанесено керамическое покрытие. [6]

Для реализации данного метода будет использоваться современный пятиосевой обрабатывающий центр FHDmill / Mill 800 британской фирмы «Winbro group technologies». На данный момент это единственный станок в мире, на котором возможно за один установ выполнять последовательно лазерную и электроэрозионную обработку.



Рис. 2. Внешний вид станка FHDmill/Mill 800

Благодаря сочетанию возможности электроэрозионной и лазерной обработки в одной единице оборудования, обрабатывающий центр FHDmill / Mill 800 имеет очень широкие технологические возможности.

Преимущества данной модели станка:

- пяти координатная система перемещений (5 осей);
- корпус станка выполнен по 1му классу защиты от лазерного излучения;
- двухуровневая система управления: ЧПУ Siemens 840D + персональный компьютер;
- волоконный лазер для абляции, с системой доставки луча, скоростным сканером и фокусирующей оптической головкой;
- новый высокопроизводительный электроэрозионный генератор импульсов;
- система базирования деталей с помощью щупа Renishaw и программное обеспечение для много-точечного обмера детали и ее базирования;
- система охлаждения сервомоторов приводов линейных и поворотных осей;
- дополнительно: многопозиционное устройство автоматической смены инструмента.

На нем возможно за один установ выполнять последовательно лазерную и электроэрозионную обработку, причем для таких деталей, как лопатка турбины предусмотрен обмер каждой детали по шести точкам с использованием щупа Renishaw (с рубиновой головкой) и дальнейшее автоматическое базирование детали с учетом реальных отклонений детали от ее геометрической модели. Обрабатывающий центр позволяет вести обработку деталей в автономном режиме (без участия оператора) при условии оснащения его роботом-манипулятором для загрузки-выгрузки обрабатываемых деталей. Автоматическая смена инструмента и проведение замеров обеспечиваются при помощи штатного шестипозиционного сменщика инструмента.[7]

Применение нового станка позволит значительно сократить время на обработку охлаждающих отверстий. Не придется постоянно тратиться на производство новой оснастки, когда будут меняться углы наклона отверстий к кромке лопатки, не потребуется вручную подравнивать электроды, не нужно будет вручную менять электроды и устанавливать лопатку в приспособления.

Новый обрабатывающий центр позволяет:

- уменьшить время переналадки станка на смену детали до 5 минут и до нескольких секунд на смену инструмента, вместо наладки в 1 - 2 часа;
- уменьшить номенклатуру используемой оснастки до одного – двух приспособлений;
- обработать отверстия за 1 установ лопатки;
- проводить обработку лопаток после покрытия керамикой, что сократит количество бракованных деталей;
- сократить число операций изготовления лопаток;
- обеспечить более высокую точность отверстия и меньший измененный слой (не более 0,03 мм);

- уменьшить число бракованных лопаток;
 - повысить производительность в 1,5 - 2 раза;
- Всё это в сумме позволит:
- увеличить эффективность охлаждения лопаток ГТД (увеличить расход воздуха через них);
 - повысить ресурс работы лопаток на 30-40 % ;
 - увеличить ресурс работы двигателя вместе с этим.

Вместе со всеми плюсами, которые уже перечислены, данная технология позволит увеличить конкурентоспособность отечественных предприятий.

Литература.

1. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий [Текст]: монография/А.Ф.Бойко.- Белгород: Изд-во БГТУ, 2010.-314с.
2. Владыкин А.В., Макаров В.Ф. Повышение эффективности обработки отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов на основе применения метода электроэрозионного сверления // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьёва. – 2010 – №2 (17) – С. 29-37.
3. Владыкин А.В., Макаров В.Ф. Расчёт производительности высокоскоростной электроэрозионной обработки отверстий в жаропрочном сплаве полым вращающимся электродом-инструментом // Научно-ёмкие технологии в машиностроении и авиационном двигателестроении (ТМ – 2012): материалы IV Междунар. науч. – техн. конф., посвящ. 75-летию В.Ф. Безъязычного, 3-5 сент. 2012 г., Рыбинск: в 2 ч. / М-во образования и науки РФ [и др.] – Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьёва, 2012 – Ч. II – С. 135-142.
4. Евсин Е.А., Бельтюков А.А., Пермяков И.А., Владыкин А.В. Исследование процесса электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в деталях из жаропрочного сплава // Вестник ПГТУ – Пермь: ПГТУ, 2007 – С. 20-24.
5. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь, 2006. – 1195 с.
6. Конструкция основных узлов двигателя ПС-90А. Учеб. пособие - 2-е изд. испр. и доп. / М.А. Нихамкин, М.М. Зальцман. Перм. гос. техн. ун-т. Пермь 2002. – 108 с.
7. Погонин А.А. Зависимость производительности и износа электрода-инструмента от его материала при электроэрозионной прошивке капиллярных отверстий [Текст]/ А.А. Погонин, А.Ф. Бойко, Т.А. Блинова//Наука на рубеже тысячелетий: сб. мат-лов шестой междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 26-27 окт. 2009г./ Тамбов.гос.технич.ун-т.- Тамбов, 2009.-С.218-219.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК ТУРБИН

*В.Ф. Макаров, д.т.н., проф., Р.А. Туранский, магистрант, А.В. Григорьева, магистрант
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, г. Пермь, ул. Ленина, 29, тел.(342) 219-82-36
E-mail: makarovv@pstu.ru*

ПД-14 - турбореактивный двухконтурный двухвальный двигатель, без смешения потоков наружного и внутреннего контуров, с реверсом, эффективной системой шумоглушения и сниженным расходом топлива. Улучшенные характеристики данного двигателя предъявляют высокие требования к качеству изготовления деталей. Наиболее важные из них, непосредственно влияющие на показатели двигателя, подлежат предельно точной обработке. К таким деталям можно отнести рабочие и сопловые лопатки. [1]

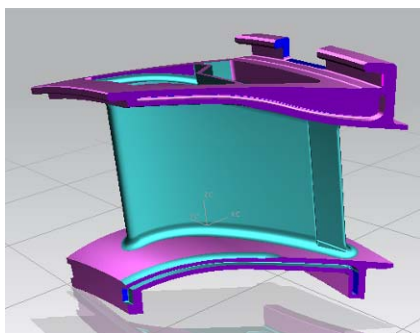


Рис. 1 Сопловая лопатка 1 ступени ТВД

Рабочие и сопловые лопатки турбины входят в горячую часть газотурбинного двигателя. Конструктивные и технологические особенности лопаток оказывают принципиальное влияние на газодинамические характеристики двигателей. Рабочие лопатки турбины являются основными деталями преобразующие давления газа во вращательное движение вала и компрессора двигателя, благодаря чему создается тяга реактивного двигателя. [2]

Сопловые лопатки статора турбины предназначены для изменения направления потока газа и превращения энергии давления в энергию, обусловленную скоростью потока. Сопловые лопатки устанавливаются непод-

вижно по базовым поверхностям (рис. 1). [3]

Одним из важных параметров сопловых лопаток является проходное сечение. Проходное сечение – это площадь сечения межлопаточного канала соплового аппарата, предназначенного для направления потока движущегося с большой скоростью и давлением раскаленного газа на лопатки ротора турбины и создания мощного крутящего момента на основной вал ГТД (рис. 2). Для обеспечения высокого КПД и требуемой тяги двигателя конструкторами рассчитана величина эффективной площади межлопаточного проходного сечения соплового аппарата. При сборке соплового аппарата точность проходного сечения зависит от точности изготовления литейных поверхностей профиля лопаток и точности при шлифовании базовых установочных поверхностей каждой индивидуальной сопловой лопатки.

Именно поэтому параметр проходного сечения очень важен и его фактическое значение после сборки должно быть равно расчетному. Однако на сегодняшний день эта величина не обеспечивается, вследствие применения устаревших технологий шлифования. Это в свою очередь негативно отражается на характеристиках двигателя (снижается КПД, увеличивается расход топлива). [4]

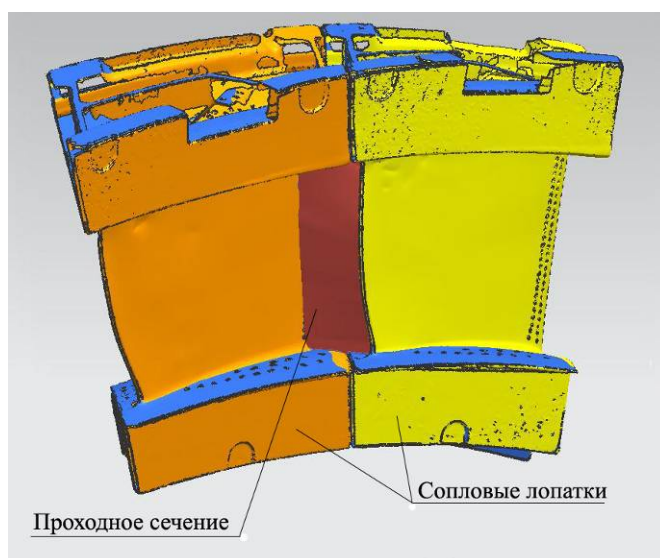


Рис. 2 Проходное сечение между сопловыми лопатками

Существенное повышение эффективности процесса шлифования обеспечивается путем внедрения в производство деталей из труднообрабатываемых материалов технологии глубинного шлифования (рис.3).

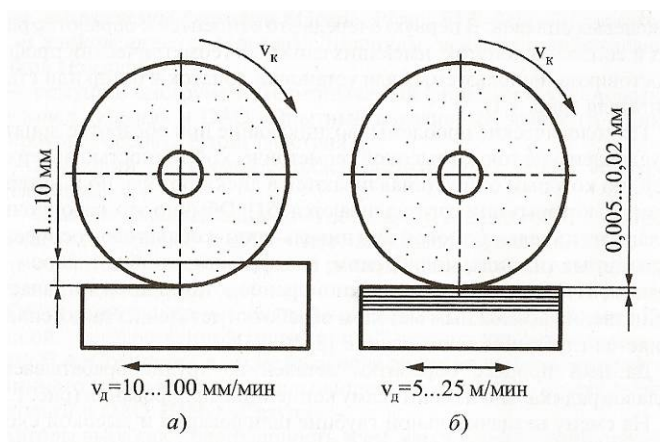


Рис. 3 Сравнительные характеристики глубинного (а) и маятникового (б) шлифования: V_k – скорость круга, V_d – скорость подачи детали

Процесс глубинного шлифования более производителен, чем технологии маятникового шлифования. Он позволяет совмещать в рамках одного технологического перехода обработку сложных профильных поверхностей, а в рамках одной операции – предварительную, полувыводную и финишную обработку. С помощью данной технологии наносятся минимальные повреждения поверхностному слою детали, формируются такие характеристики качества поверхностного слоя (шероховатость, остаточные напряжения, глубина и степень наклепа), которые обеспечивают наиболее благоприятные эксплуатационные свойства деталей.

Благодаря этому технология глубинного шлифования нашла широкое применение при обработке: деталей ГТД, изготовленных из никелевых или других жаропрочных сплавов; режущих поверхностей концевых инструментов из твердых сплавов; штампов высокопрочных сплавов, а также различных видов соединений. [5]

Рассмотрим существующую технологию обработки сопловых лопаток.

Реализуемая на данный момент схема обработки является достаточно трудоемкой. Для ее реализации требуется применение большого количества оборудования. Используются следующие станки: ЛШ-220 с ЧПУ, 3М722 универсальный, а также токарно-лобовый станок МК-163М.



Рис. 14 Общий вид станка Mägerle MFP-050

Достижение высокой точности и низкой шероховатости поверхностей дается с большим трудом, поскольку до сих пор некоторые работы проводятся специалистом вручную. Кроме этого, большое число наладочных операций и переустановок снижает точность обработки лопаток.

Именно поэтому есть необходимость в применении многоосевой обработки всех поверхностей с одной установкой лопатки. Это позволит избежать многих проблем при обработке, а также улучшить качество самой лопатки.

Для значительного повышения качества обработки базовых поверхностей методом глубинного шлифования идеально подходит 5-ти осевой прецизионный шлифовальный и обрабатывающий центр швейцарской фирмы Mägerle модели MFP-050. На нем возможна комплексная обработка сложных деталей за одну установку. [6]

Общий вид станка приведен на рис. 14.

Для данного станка разработана технология обработки базовых поверхностей сопловых лопаток первой ступени ТВД. Произведем сравнительный анализ серийной и новой технологий и отразим результаты в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ технологий

<i>Серийная технология</i>	<i>Новая технология</i>
<ul style="list-style-type: none"> • 11 операций, 11 установок; 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 операция, 4 установка;
<ul style="list-style-type: none"> • 6 плоскошлифовальных станков модели ЛШ-220, 2 универсальных станка 3М722, 2 токарно-лобовых станка МК-163М; 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 станок Mägerle MFP-050;
<ul style="list-style-type: none"> • 8 операторов, 2 наладчика; 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 оператора, 1 наладчик;
<ul style="list-style-type: none"> • Тшт = 565 мин. 	<ul style="list-style-type: none"> • Тшт = 20...30 мин.

Проанализировав технологии можно сделать вывод о том, что в результате внедрения нового метода шлифования лопаток турбин на станке Mägerle время механической обработки сопловой лопатки первой ступени ТВД сократится до 20...30 вместо 565 минут; уменьшится номенклатура выпускаемой оснастки до трех приспособлений вместо 10; уменьшится время переналадки (до 5 минут на смену детали и до 5 секунд на смену инструмента вместо наладки в течении 2-3 часов).

Все вышеуказанное приведет к повышению производительности процесса глубинного шлифования в 10-30 раз, сокращению числа операций и установок (1 установ при обработке по новой технологии вместо 11 по старой), а также росту показателей качества вследствие исключения человеческого фактора. [7]

Однако использование станка без соответствующего программного обеспечения само по себе не дает никаких преимуществ. Поэтому прежде, чем начать шлифование базовых поверхностей сопловых лопаток на многоосевом станке с ЧПУ модели MFP-050 фирмы Mägerle AG, необходимо ввести коррекцию при установке лопаток, учитывающую отклонения литейных поверхностей относительно номинальных конструкторских поверхностей.

Для выполнения этой задачи разработан комплекс программного обеспечения (ПО) подготовки данных для шлифования лопаток, который включает в себя:

1. Программное обеспечение для автоматизированного расчета величин смещения и углов поворота сопловых и рабочих лопаток. Данные величины используются для компенсации погрешности литья лопаток;
2. Программное обеспечение для автоматизированного построения, анализа и редактирования площади проходного сечения отливок и лопаток.

Выходными данными после работы ПО являются:

- фасетные тела отливок, полученные после совмещения отливок по проточной части с номинальной ГМ лопатки;
- текстовый файл с величинами смещений и углами поворотов (3 угловые координаты и 3 координаты смещения).

Полученные величины смещений и углы поворота компенсируют погрешность литья лопатки, однако не учитывают фактическую площадь проходного сечения. Поэтому проводится расчет фактической площади проходного сечения и необходимая дополнительная коррекция установки лопатки перед операцией шлифования базовых поверхностей лопаток с помощью специального программного обеспечения (СПО).

С помощью СПО проводится построение и анализ площади проходного сечения для моделей лопаток; построение, анализ и корректировка площади проходного сечения для отливок с последующей корректировкой текстового файла с величинами смещений.

При создании СПО разработан алгоритм и программа расчета и построения проходного сечения, что полностью автоматизирует сам процесс расчета и построения проходного сечения. После нахождения площади в автоматическом режиме проводится анализ построенной и заданной конструктором площадей проходного сечения. По итогам расчетов СПО создается текстовый файл с результатами сравнения. Для отливок рассчитывается угол, при повороте на который площадь оказалась бы в заданном допуске. Затем происходит корректировка углов поворотов с учетом рассчитанной ранее компенсации и выводится окончательный текстовый файл с величинами смещений и углами поворотов.

По полученным данным проводится корректировка установки лопаток на глобусном столе пяти осевого станка MFP-050 с помощью системы ЧПУ.[8]

Внедрение новой технологии обработки с учетом покупки 5-ти осевого профилишлифовально-го станка с ЧПУ позволит:

1) Сократить время механической обработки одной рабочей лопатки ТВД до 10...15 минут, вместо 150 минут, сопловой лопатки ТВД до 20...30 минут, вместо 565 минут.

2) Уменьшить номенклатуру выпускаемой оснастки до 2-х максимум 3-х приспособлений (для обработки) на каждую лопатку вместо 10 на данный момент.

3) Уменьшить время переналадки от 1 до 5 минут на смену детали и до 5 секунд на смену инструмента.

Применение специального программного обеспечения также позволяет улучшить показатели качества готовой продукции, что в свою очередь положительным образом влияет на КПД двигателя и другие его характеристики.

Литература.

1. Козлов Д.А. ПД-14 создается практически всеми авиадвигателестроителями России [электронный ресурс]/Д.А. Козлов. – Режим доступа: <http://www.aviaport.ru/news/2012/04/16/233024.html>. Дата обращения: 15.10.2014.
2. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь, 2006. – 1195 с.
3. Конструкция основных узлов двигателя ПС-90А. Учеб. пособие - 2-е изд. испр. и доп. / М.А. Нихамкин, М.М. Зальцман. Перм. гос. техн. ун-т. Пермь 2002. – 108 с.
4. В.Ф. Макаров / Современные методы высокоэффективной абразивной обработки труднообрабатываемых материалов. ПНИПУ, 2013г, -359 с.
5. Полетаев В.А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.: ил.

6. Рекламные материалы фирмы «Mägerle».
7. Статья: ГП «Ивченко-Прогресс»: Обработка лопаток на профилешлифовальном станке фирмы Mägerle. Журнал «Промышленность в фокусе» №1 январь 2013.
8. Техническое задание «На разработку специализированного программного обеспечения для определения величин смещений и углов поворота, для компенсации погрешности литья лопаток и учета проходного сечения», ОАО «Авиадвигатель».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОТАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Е.В. Павлов, к.т.н., доц., М.А. Павлова, магистрант
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, тел. (4712)-32-60-90
E-mail: evp.kstu@mail.ru*

Для повышения конкурентоспособности современного машиностроения особую роль играют такие направления как снижение материалоемкости производства, уменьшение стоимости изделий, возможность их многократного восстановления и использования. При реновации изделий значительно сокращается число технологических операций по сравнению с изготовлением новых деталей. При этом стоимость восстановления существенно ниже стоимости изготовления деталей (на 30-50%). Наиболее целесообразным является восстановление металлоемких ротационных деталей (генераторов, штоков, плунжеров, роторов и лопаток турбин, балансиров, фланцев) [1].

Электродуговая наплавка является наиболее распространенной технологией восстановления деталей машин и оборудования. Слой наплавленного металла по химическому составу отличается от присадочного вследствие его перемешивания с расплавленным материалом основы, потерь компонентов из-за окисления и др. Даже в верхних слоях (третий и т.д.), где влиянием перемешивания с основным металлом пренебрегают, это различие значительно.

Таким образом, материал основы оказывает существенное влияние на состав и свойства наплавленного материала.

Наплавленные частицы кристаллизуются отдельными мелкими слоями толщиной в несколько сотых долей миллиметра. Слоистое строение кристаллизовавшегося металла связано с периодическими остановками процесса, вызванными задержками в уменьшении температуры сварочной ванны перед фронтом кристаллизации вследствие выделения скрытой теплоты. После отвода выделившейся теплоты в основной металл, кристаллизуется следующий слой расплава металла покрытия.

Прерывистый характер первичной кристаллизации ванны расплавленного металла влияет на развитие слоистой неоднородности, при которой нижний участок слоя обогащен, а верхний участок обеднен легирующими примесями по сравнению со средним участком.

Микроструктура наплавленных слоев (рис. 1) анализировалась с помощью оптического инвертированного микроскопа OLYMPUS GX51, дополнительно оснащенного прецизионным сканирующим автоматизированным столом PS 11, цифровой микроскопной видеокамерой SIMAGIS 2P-2C и системой автоматизированного анализа изображений "SIAMS Photolab" (SIMAGIS Research).

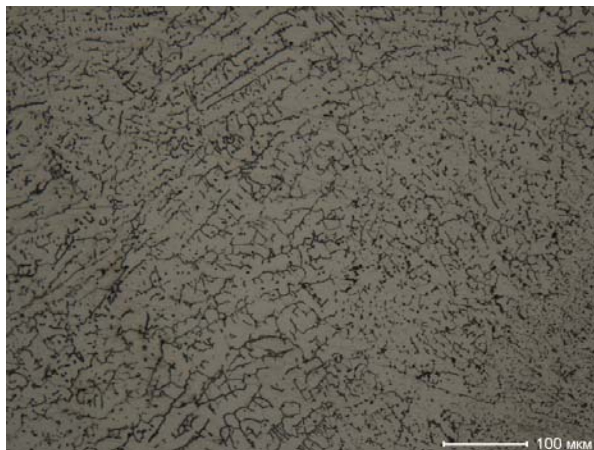


Рис. 1. Микроструктура наплавленного слоя из стали П11-Нп-30Х4Г2М ($\times 200$)

Изображения микроструктур наплавленных образцов получали в отражённом свете с увеличением микроскопа $\times 200$ и $\times 500$. Микрошлифы наплавленных образцов подготавливались до зеркального блеска за счет предварительного абразивного шлифования и трехступенчатого полирования на пастах с размером абразивных зерен 6, 3 и 1 мкм. Для более четкого выявления микроструктуры выполняли травление предварительно подготовленным раствором с помощью ватного тампона.

При затвердевании металла в нем развиваются два конкурирующих процесса – процесс формирования химической неоднородности материала и процесс диффузии, стремящейся выровнять состав в различных участках кристаллитов. Однако полной гомогенизации металла не происходит, что обуславливает развитие зональной ликвации и внутريدендритной неоднородности. Ликвация различных химических элементов имеет свои особенности, влияя друг на друга. Например, увеличение содержания углерода в наплавленном металле усиливает ликвацию марганца, молибдена, кремния и хрома. Таким образом, легирование наплавленного металла несколькими элементами обуславливает их сложное взаимовлияние и общую картину неоднородности металла.

Химическая неоднородность наплавленного металла связана также с технологией его нанесения и особенностями материалов, применяемых для получения покрытия. Основной причиной возникновения неоднородности при однослойной наплавке отдельными валиками является более высокое легирование металла в зонах перекрытия. С увеличением коэффициента заполнения порошковой проволоки или ленты уменьшается разбрызгивание материала и улучшается формирование валиков – однородность наплавленного металла увеличивается.

Физическая неоднородность металла покрытия связана с несовершенством его кристаллической решетки. Особенно много дефектов возникает при дендритной кристаллизации, характерной для наплавленного металла. Ветви дендритов имеют различную пространственную ориентацию, а кристаллиты – блочную структуру, усиливаемую и из-за скопления между ветвями дендритов примесей и дислокаций.

При остывании расплава по ходу процесса кристаллизации наблюдается сокращение объема, занимаемого материалом покрытия. Эти усадочные явления создают значительные напряжения внутри кристаллизующегося металла. Если они превосходят сложившуюся на данный момент прочность материала, то в покрытии образуются горячие трещины. Остывание металла сопровождается ростом трещин под действием напряжений, вызванных неравномерным нагревом.

Кристаллизация наплавленного металла приводит к падению растворимости газов в металле и соответственно к зарождению газовых пузырьков на поверхностях, разделяющих жидкий и затвердевший металл. Наличие в металле водорода, азота, плохая защита от воздуха, использование влажного флюса, протекание химических реакций между закисью железа, водородом и углеродом, обуславливающие образование нерастворимых газов, способствуют возникновению пористости. Возможно образование сквозных пор – свищей.

Проведенный анализ позволяет выявить ряд специфических свойств наплавленных материалов, оказывающих влияние на их обрабатываемость. В отличие от монолитных материалов, наплавленные поверхностные слои, подвергаемые механической обработке, имеют: - высокую хрупкость; - различную твердость по поверхности и по глубине; - неоднородный химический состав по сечению; - большое количество составляющих микроструктуры (карбиды, бориды, интерметаллиды и другие частицы высокой твердости); - значительную пористость [2].

Технологии реновации деталей машин и оборудования кроме наплавочных операций содержат операции механической обработки. Геометрические и физико-механические характеристики поверхностного слоя, сформированные в деталях на операциях окончательной механической обработки, являются конечными и определяющим образом влияют на эксплуатационные характеристики обработанных деталей.

Тенденции развития механообработки в машиностроении определяют конкурентность на операциях финишной обработки гетерофазных наплавленных материалов методов шлифования абразивными, алмазными или кубонитовыми кругами со способами более производительной и менее энергозатратной лезвийной обработки (точения, строгания, фрезерования) с применением режущих инструментов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора (композитами) [3].

Исследования показали, что при обработке точением наплавленной поверхности композитом 10 в поверхностном слое не происходят существенные фазовые превращения. На дифрактометре УРС-50ИМ в кобальтовом $K\alpha$ -излучении зафиксирована лишь α -фаза (сталь HRC < 30) и α - и γ -фазы

(сталь НРС > 30). Происходит упрочнение металла в пределах 10...15 % на глубину до 80...120 мкм. На поверхности детали возникают растягивающие тангенциальные и осевые напряжения [4].

При проведении исследований также было установлено, что шероховатость обработанной поверхности наплавленных деталей при точении резцами из композитов зависит, в основном, от следующих технологических факторов, перечисленных в порядке убывания степени их влияния на параметры микропрофиля: подача, радиус при вершине резца, передний угол резца. Последний в основном влияет на формирование продольной шероховатости обработанной поверхности. Влияние исходной шероховатости также значимо, и при недостаточной жесткости технологической системы является определяющим фактором. С возрастанием радиуса округления режущей кромки после завершения периода приработочного износа инструмента шероховатость уменьшается и стабилизируется, причем наблюдается уменьшение углов наклона профиля и увеличение радиусов выступов микронеровностей. Это объясняется возрастанием доли пластических деформаций в процессе формирования поверхностного слоя скругленной режущей кромкой и установившейся площадкой износа. При таких условиях обработки инструмент помимо снятия стружки выполняет функции выглаживателя, снижая шероховатость обработанной поверхности [5, 6].

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что применение процессов окончательного и тонкого точения деталей, восстановленных наплавкой, на операциях окончательной обработки позволяет заменить метод абразивного и алмазного шлифования, повысить производительность обработки, обеспечить требуемую точность и шероховатость обработанной поверхности, а также повысить ее износостойкость.

Литература.

1. Павлов Е.В. Исследование технологий механической обработки гетерофазных покрытий при упрочнении и восстановлении деталей машин и оборудования / Е.В. Павлов, Д.Ю. Лунин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Материалы VIII межд. научно-техн. конф.: в 2 ч. Ч.2. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2011. – С. 79-84.
2. Павлов Е.В. Совершенствование технологии ремонта деталей горных машин и оборудования / Е.В. Павлов, Каменова Т.Е., Дремова В.Б. // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы III межд. научно-практ. конф. в 3 т. Т. 3 – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 34-37
3. Павлов Е.В. Выбор и обоснование инструментальных материалов для окончательной лезвийной обработки / Е.В. Павлов // Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы Межд. научно-техн. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 234-237
4. Павлов Е.В. Исследование термомеханических процессов резания деталей погружных пневмударников / Е.В. Павлов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. 2014. – С. 150-158.
5. Кудряшов Е.А. Применение композиционных инструментальных материалов при ремонте деталей машин / Е.А. Кудряшов, Е.В. Павлов, Е.И. Яцун и др. // Упрочняющие технологии и покрытия, № 9, 2010. С. 30-31.
6. Павлов Е.В. Установление зависимости параметров механической обработки на показатели качества деталей с покрытиями / Е.В. Павлов // Известия Юго-Западного государственного университета, № 1, 2013. – С. 82-84.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Е.В. Павлов, к.т.н., доц., М.А. Павлова, магистрант

Юго-Западный государственный университет

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, тел. (4712)-32-60-90

E-mail: evp.kstu@mail.ru

Внедрение материалов на основе нитрида кремния, которые отличаются чрезвычайно высокими высокотемпературными свойствами, коррозионной стойкостью, твердостью и износостойкостью, вызвало настоящий переворот в области конструкционной и инструментальной керамики. Однако еще более важным следует считать разработку материалов на основе сиалонов, обладающих как достоинствами нитрида кремния, так и окиси алюминия, но превосходящих эти материалы технологичностью [1].

Сиалоновые материалы по износостойкости, режущим свойствам и универсальности превосходят существенно все известные режущие материалы. Несмотря на сравнительную дороговизну режущих пластин из сиалоновой керамики, они используются все шире, в частности, применительно к труднообрабатываемым материалам, так как позволяют намного (в 6...10 раз) интенсифицировать процесс резания.

К свойствам, определяющим высокие эксплуатационные характеристики режущего инструмента, относятся износостойкость, твердость, прочность, теплопроводность, коррозионная стойкость, которые определяются, в основном, химическими и фазовыми составами материала и его структурой. Однако, для инструментальных материалов, полученных методами порошковой металлургии, на уровень указанных свойств значительно влияет пористость этих материалов. Поэтому основным требованием, предъявляемым к нитридокремниевым материалам, как и к другим режущим материалам, получаемым методами порошковой металлургии, является их нулевая пористость [2].

Важнейшей характеристикой, определяющей эффективность инструментальных материалов, является твердость. Микротвердость чистого нитрида кремния составляет 31...38 ГПа и для монокристаллов незначительно зависит от их ориентации. Твердость поликристаллического нитрида кремния, полученного методом газофазного осаждения, достигает максимального значения 46...50 ГПа при размере кристаллов около 1 мкм.

Несмотря на то, что в некоторых случаях были получены материалы с плотностью, близкой к теоретической, их твердость оказалась низкой. Это объясняется, вероятно, тем, что в условиях горячего прессования происходит взаимодействие металлического компонента с азотом или кремнием с образованием двойных или тройных соединений, снижающих твердость материалов.

Прочность на изгиб горячепрессованного нитрида кремния с малыми добавками окисных активаторов (до 5%) составляет 500...700 МПа. Для сиалоновых материалов, содержащих более 5% окиси алюминия, прочность снижается до 400 – 500 МПа и имеет тенденцию к дальнейшему снижению по мере увеличения содержания алюминия [3, 4].

Нитридокремниевые материалы, в отличие от остальных керамических материалов, характеризуются более высокой вязкостью разрушения. В частности, горячепрессованный нитрид кремния, активированный небольшой добавкой окиси магния, имеет коэффициент трещиностойкости K_{Ic} равный 6,5...8,0 МН/м^{3/2}, что достаточно велико даже по сравнению с такими ударопрочными материалами, как гексанит и твердые сплавы. Критический коэффициент K_{Ic} и твердость при абразивном износе непосредственно определяет стойкость материала. Однако средняя стойкость резцов из нитрида кремния, содержащего 5% MgO, почти в два раза ниже стойкости резцов из нитрида кремния, содержащего 5% Al₂O₃, хотя последний отличается меньшей вязкостью разрушения, а их твердость находится примерно на одном уровне.

Повысить вязкость разрушения сиалоновых материалов можно путем введения упрочняющих фаз, создающих структуру с микротрещинами под действием термических напряжений, возникающих за счет различия наполнителя и основы или в результате фазовых переходов, сопровождающихся объемным эффектом. В такой структуре зоны, обогащенные микротрещинами, препятствуют распространению магистральных трещин, приводящих к разрушению материала, что значительно повышает значение K_{Ic} .

Идея повышения ударопрочности или трещиностойкости двухфазных керамических материалов была экспериментально подтверждена на примере Al₂O₃, упрочненной включениями нестабилизированного ZrO₂, претерпевающего агрегатный фазовый переход, который сопровождается объемным эффектом.

Для достижения аналогичного эффекта в нитридокремниевых материалах необходимо использовать в качестве наполнителя упрочняющие фазы с более высоким значением коэффициента термического расширения.

Стойкость материалов определялась при резании стали У8 при режимах: скорость – 2,5 м/с; глубина – 0,5 мм; подача – 0,11 мм/об. Геометрические параметры резца: $\varphi = 45^\circ$; $\varphi = 15^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 7^\circ$; $\gamma = 15^\circ$. Стойкость при резании характеризуется временем, проходящим до наступления износа по задней поверхности 0,4 мм.

Таблица 1

Механические свойства и стойкость при резании материалов на основе нитрида кремния

Материал наполнителя	Микротвердость, ГПа	Коэффициент трещиностойкости K_{Ic} , МН/м ^{3/2}	Стойкость при резании, мин
–	16,0	4,8	22,0
TiC	18,0	5,7	70,0
NbC	18,5	5,9	11,8
TaN	16,5	7,3	15,5
TiN	19,5	5,9	42,6
TaN	18,6	5,0	30,1

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, эффект повышения K_{Ic} по сравнению с исходным материалом $Si_3N_4 + 10\% Al_2O_3$ был обнаружен в результате введения всех изученных наполнителей. Однако повышенную твердость и трещиностойкость в сочетании с увеличенной стойкостью при резании показали материалы, содержащие TiC, TiN и TaN.

Однако при высоком содержании микродефектов, вызываемых фазой-наполнителем, повышении энергии разрушения сопровождается снижением прочности при изгибе.

Проблема сохранения достаточного уровня прочности связана с достижением минимальных размеров и высокой степени однородности микротрещин, что достигается при увеличении внутренних напряжений.

Эффективное повышение вязкости разрушения нитридокремниевых материалов возможно не только при введении фаз-наполнителей, но и путем термообработки этих материалов.

Рассмотренные прочностные характеристики нитридокремниевых материалов, при использовании последних в качестве режущего материала, влияют в основном на адгезионный и абразивный износ инструмента. Но поскольку в зоне резания инструмент подвергается не только адгезионному и абразивному износу, но и химическому, и диффузионному, то представляет интерес сравнить стойкость различных тугоплавких соединений, могущих быть основой инструментальных материалов, по отношению к химическому и диффузионному взаимодействию в контакте с некоторыми металлами и сплавами. Нитрид кремния наряду с окисью алюминия является наиболее химически инертным материалом по отношению к рассмотренным металлам и сплавам. Поэтому можно предположить, что горячепрессованный Si_3N_4 с активатором Al_2O_3 будет также обладать высокой диффузионной и химической стойкостью при резании. В то же время по механическим свойствам нитрид кремния существенно превосходит оксид алюминия. Поэтому материалы на основе сиалонов, которые сочетают в себе наилучшие свойства Si_3N_4 и Al_2O_3 , являются наиболее перспективными режущими материалами [5, 6].

Обладая высоким уровнем механических свойств и химической инертностью ко многим металлам и сплавам, нитридокремниевые материалы имеют очень высокую теплопроводность, которая способствует повышению его термостойкости. Коэффициент термического расширения как для горячепрессованного нитрида кремния, так и для сиалона крайне низок, что в сочетании с высокой теплопроводностью придает этим материалам хорошую стойкость к термоударам и повышенным тепловым нагрузкам.

Литература.

1. Павлов Е.В. Использование оксидно-карбидной минералокерамики в качестве инструмента для механической обработки изделий из закаленных сталей и чугунов / Е.В. Павлов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Сб. материалов III межд. научно-техн. конф.: в 2 ч. Ч.2. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2005. – С. 31-37.
2. Павлов Е.В. Исследование ионно-плазменных технологий упрочнения режущего инструмента / Е.В. Павлов // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 10-й Юбилейной Международ. научно-техн. конф. 24-28 мая 2010 г., г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2010. – С. 141-144.
3. Яцун Е.И. Ресурсосберегающие системы резания с инструментом из композитных материалов / Е.И. Яцун, С.В. Швец, А.И. Ремнев, Е.В. Павлов // СТИН, № 7, 2013. – С. 29-35.
4. Павлов Е.В. Выбор и обоснование инструментальных материалов для окончательной лезвийной обработки / Е.В. Павлов // Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы Межд. научно-техн. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 234-237.
5. Павлов Е.В. К вопросу установления стойкости токарных инструментов, оснащенных композитами / Е.В. Павлов, В.Б. Дремова // Качество в производственных и социально-экономических системах: Сборник научных трудов 2-ой Межд. научно-техн. конф.: в 2-х томах, Т.1 – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 237-241.
6. Павлов Е.В. Исследование термомеханических процессов резания деталей погружных пневмоударников / Е.В. Павлов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. 2014. – С. 150-158.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА БЛОКИРОВКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМУФТЫ

А.В. Коперчук, к.т.н., доц., А.В. Мурин, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)60537

E-mail: avkop@tpi.ru

**Томский политехнический университет*

634050, г. Томск проспект Ленина 30, тел. (3822) 56-46-55

Наиболее распространенным решением по защите приводов машин от действия чрезмерных перегрузок является использование предохранительных муфт. Их конструкция может быть достаточно простой как у муфт с разрушающимся элементом [1] или весьма сложной как, например, у предохранительных инерционных муфт с планетарными механизмами [2]. Однако, несмотря на разнообразие технических решений, предохранительные гидродинамические муфты достаточно широко используются в топливной, химической и других отраслях промышленности. Общим недостатком гидродинамических муфт являются потери энергии на установившемся режиме работы, обусловленные разными скоростями ведущих и ведомых элементов, которые можно устранить, применяя механизмы блокировки. Опыт использования блокируемой гидромуфты (БГМ) TurboSyn 750 TV-Syn производства Voith GmbH в приводе угольной мельницы на бурогольной ТЭС «Фриммерсдорф» (Германия) [3] показывает, что при работе на номинальном режиме экономия энергии составляет около 3% при мощности приводного асинхронного электродвигателя 450 кВт и частоте вращения 1480 мин⁻¹. Этот же сайт сообщает о положительном опыте применения БГМ модели 562 TPL-SYN в приводе турбокомпрессора измельчителя мощностью 1,2 МВт при 1480 мин⁻¹. На кафедре «Горношахтного оборудования» Юргинского технологического института в проекте создания проходческой техники нового класса «Геоход» [4] также рассматривается вариант применения блокируемой предохранительной гидродинамической муфты в приводах транспортной системы.

Необходимо признать, что примеры использования БГМ в настоящее время достаточно редки, хотя наличие нескольких таких конструкций в модельном ряде мирового лидера в этой области Voith GmbH показывает востребованность подобных устройств.

Мировые тенденции сокращения издержек производства и экономии энергоресурсов заставляют искать новые и совершенствовать существующие конструкции устройств блокировки гидромуфт. Оригинальное решение предложено А.В. Муриным и В.А. Осиповым [5] (рис.1). Механизм блокировки выполнен в виде центробежной муфты с дробью и гофрированным диском.

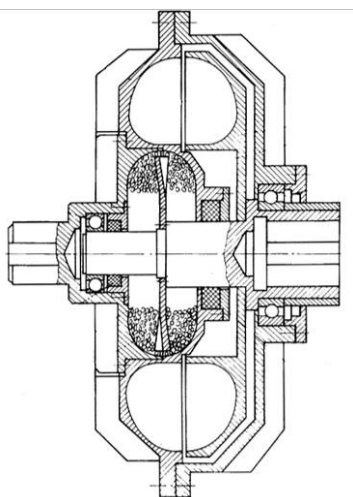


Рис. 1. Блокируемая предохранительная гидромуфта А.В. Мурина, В.А. Осипова

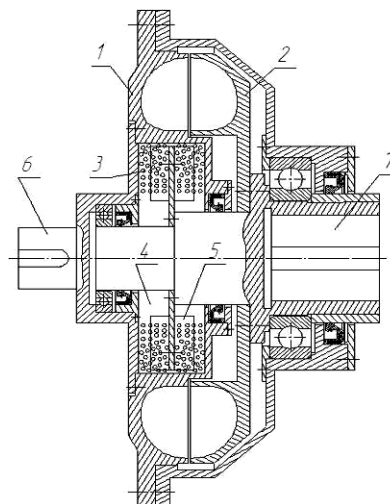


Рис. 2. Блокируемая предохранительная гидромуфта с цилиндрическим механизмом блокировки

Достоинствами данной муфты можно считать компактность механизма блокировки, простоту конструкции, наличие предохранительных свойств в заблокированном состоянии. К недостаткам

следует отнести незначительное увеличение нагрузки на приводной двигатель во время пуска и в стоповом режиме по сравнению с обычной гидромуфтой и недостаточную нагрузочную способность механизма блокировки, величина которой меньше рабочего момента гидромуфты.

Процесс работы муфты поясним на примере усовершенствованной авторами конструкции (рис.2). При разгоне насосного колеса 1 под действием в основном только гидравлического момента, передаваемого от него турбинному колесу 2, последнее также начинает вращаться. Увеличение частоты вращения приводит к увеличению центробежной силы, действующей на дробь 3 и прижимающей её частицы к стенкам цилиндрической полости 4, поверхностям ведомого диска 5 и, в итоге, к плавному возрастанию момента, передаваемого механизмом блокировки. При частоте вращения турбинного колеса 2, близкой к частоте вращения насосного колеса 1, происходит блокирование гидродинамической муфты, т.е. момент от ведущего вала 6, соединенного с насосным колесом 1, к ведомому валу 7 передается только за счет сил трения между гладкими стенками полости 4 и дробью 3 с зажатым в ней диском 5. Муфта работает без скольжения. При чрезмерных перегрузках происходит проскальзывание дроби 3 совместно с зажатым в ней диском 5 относительно стенок полости 4.

В работе [6] были приведены результаты исследований по увеличению нагрузочной способности механизма блокировки. Показано, что наиболее простым и технологичным решением этой задачи является изменение формы внутренней полости устройства с использованием ведомого диска с радиально расположенными ребрами (рис.3).

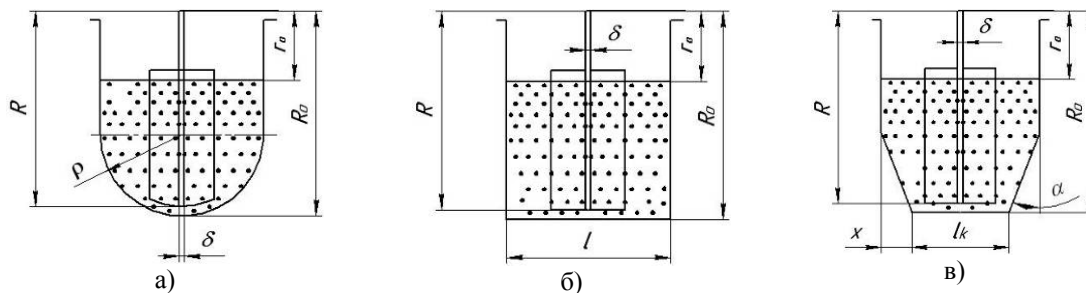


Рис. 3. Формы внутренней полости механизма блокировки:
а) торовая, б) цилиндрическая, в) коническая

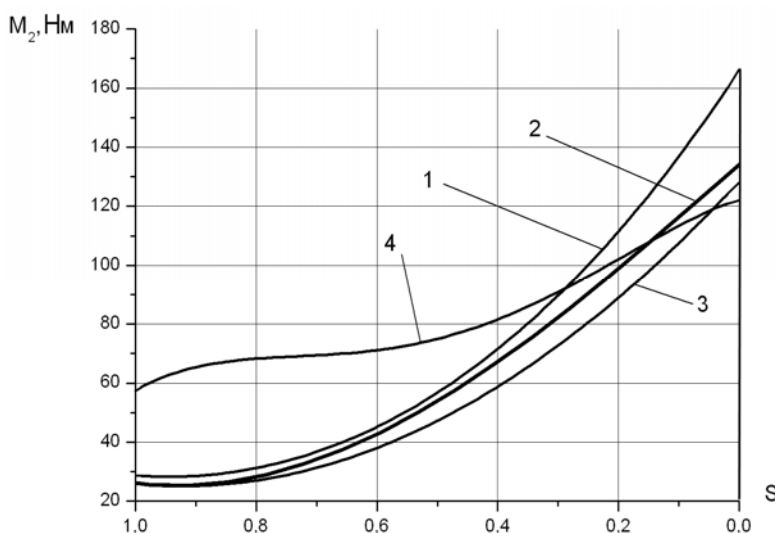


Рис. 4 Механические характеристики механизмов блокировки при наполнении гидромуфты 28%: 1 - с цилиндрической рабочей полостью; 2 - с торовой; 3 - с конической с углом $\alpha = 15^\circ$; 4 - с конической с углом $\alpha = 30^\circ$

ли были изготовлены из стали 20. В качестве наполнителя были использованы закаленные полиро-

На рис. 4 представлены полученные экспериментально механические характеристики механизмов блокировки с рассмотренными выше формами внутренней полости. По оси X отложено скольжение S в муфте, по оси Y - величина момента M_2 на ведомом валу муфты.

Данные характеристики получены на устройствах с одинаковыми наибольшим радиусом внутренней полости $R_0 = 90$ мм и осевым размером $2\rho = l = 2x + l_k = 40$ мм (рис.4). Ведомый диск с радиальными выступами высотой 12 мм полностью исключал скольжение дроби по диску. Все детали

ванные шарики диаметром 4,763 мм из стали ШХ15. Масса сыпучего наполнителя определялась из условия постоянства радиуса свободной поверхности сыпучего тела $r_0 = 57$ мм. Для осуществления разгона ведомого звена в гидродинамическую муфту был залит 1 литр рабочей жидкости, что соответствует степени ее наполнения 28%. В качестве приводного использовался асинхронный короткозамкнутый электродвигатель А72-4 мощностью 28 кВт. Частота вращения ведущего вала муфты находилась в пределах 1460...1500 мин.⁻¹. Нагружение ведомого вала муфты осуществлялось электрическим и механическим тормозами.

Основные требования к механизмам блокировки можно сформулировать следующим образом:

– величина максимального передаваемого момента механизма должна быть больше в 1,2...1,5 раза, чем номинальный момент гидромуфты;

– минимальное значение момента в «стоповом» режиме, т.е. при отсутствии вращения ведомого вала;

– минимальная дополнительная нагрузка на привод при переходе из рабочего в «стоповый» режим.

Из приведенных данных (рис. 4) видно, что наиболее полно этим требованиям отвечает механизм с цилиндрической формой внутренней полости (кривая 1). Коническая с углом $\alpha = 15^\circ$ (кривая 3) и торовая (кривая 2) конфигурация полости при одинаковом характере изменения кривой имеют меньшую нагрузочную способность. Коническая с углом $\alpha = 30^\circ$ (кривая 4) обладает наименьшей нагрузочной способностью, наибольшим моментом в «стоповом» режиме и создает более высокую дополнительную нагрузку на привод при величине скольжения свыше 0,3.

На данный момент проведены экспериментальные исследования предохранительной гидродинамической муфты с активным диаметром 280 мм, втулочным отношением 0,635 и коническим механизмом блокировки с углом $\alpha = 30^\circ$ при рабочих значениях заполнений. Заполнение гидромуфты 86%, заполнение механизма блокировки шариками диаметром 4,763 мм производилось до $r_0 = 0,057$ м, что соответствует массе 2,11 кг. Результаты испытаний представлены на рис. 5.

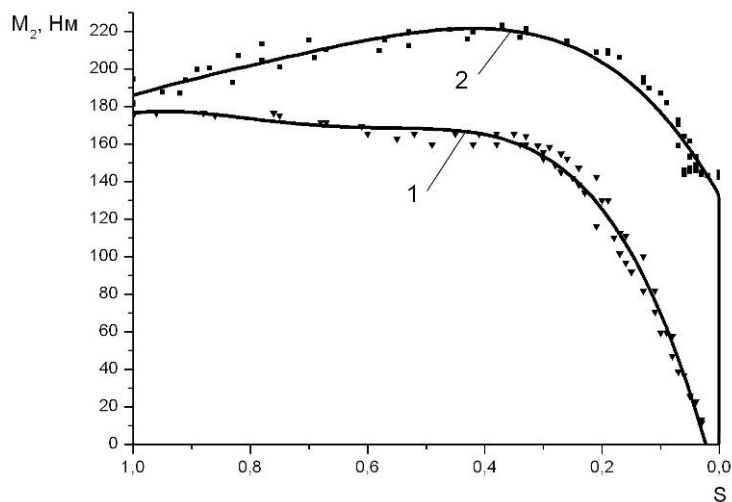


Рис. 5. Механические характеристики муфты с коническим механизмом блокировки с углом $\alpha = 30^\circ$: 1 - без дроби в механизме блокировки; 2 - с заполненным механизмом блокировки

некоторое увеличение, а затем плавное снижение момента M_2 до величины превышающей на 2...4% максимальный момент гидромуфты. Учитывая кривую 4 на рис.4 конический механизм блокировки ожидаемо значительно увеличивает момент M_2 по сравнению с исходной гидромуфтой.

Таким образом, экспериментально доказано, что усовершенствованный механизм блокировки с дробью обеспечивает работу предохранительной гидромуфты на установившемся режиме без скольжения при номинальной (рабочей) нагрузке. Кроме того, за счет увеличения частоты вращения ведомого вала муфты повышается производительность рабочей машины. Наличие механизма блокировки незначительно увеличивает максимальный момент предохранительной гидромуфты, что не снижает ее предохранительных свойств.

Из сравнения статических характеристик можно видеть, что заполненный дробью массой $Q = 2,11$ кг механизм блокировки конической формы с углом $\alpha = 30^\circ$ обеспечивает работу блокируемой предохранительной муфты без скольжения до величины момента $M_2 = 141$ Нм, превышающей номинальный (рабочий момент) гидромуфты. После превышения значения максимального момента механизма блокировки происходит повторный запуск гидромуфты. С увеличением скольжения S происходит

Литература.

1. Поляков, В.С. Муфты. Конструкции и расчет / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш.- Л.: Машиностроение, 1973. - 336 с.
2. Мурин, А.В. Методика расчета предохранительных инерционных муфт / А. В. Мурин, В. А. Осипов, Б. В. Кузнецов, А. В. Коперчук; Национальный исследовательский Томский политехнический университет.- Томск, 1998. – 23 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 12.05.1998, № 1416-В1998.
3. Drive Solutions for TurboSyn [Электронный ресурс] // Voith turbo [сайт].- Режим доступа: http://www.scharfenberg-coupler.com/fluid-couplings_drive-solutions.php?mode=selectedProdukte&displaymode=selectedProdukte&language=de&id=22.
4. V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov, Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine - GEO-WALKER, Applied Mechanics and Materials. 379 (2013) 16-19.
5. А.с. 1075027А СССР, МКИ⁴ F16D39/00. Гидродинамическая предохранительная блокируемая муфта/ А.В. Мурин, В.А. Осипов (СССР).- №3390034/25-27; заявл. 05.02.82; опубл. 23.02.84, Бюл. №7.- 4 с.: ил.
6. Koperchuk A.V., Murin A.V. Influence of geometrics of synchronization devices of fluid coupling on loading capability // Applied Mechanics and Materials Vol. 682 (2014) pp 499-503 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.682.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ПЛАСТИН
ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК4-1 ТОЛЩИНОЙ 3 ММ**

Н.В. Винокуров, аспирант, А.С. Нуртдинов, аспирант, В.В. Карманов, аспирант

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

614000, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, тел. (342)2-198-123

E-mail: nikolay.vinokurov.pnrpu@gmail.com

Сварка трением с перемешиванием - процесс сварки в твердом состоянии, при котором вращающийся инструмент погружается между двумя свариваемыми образцами, генерируя тепло за счет трения; по достижению требуемого уровня нагрева инструмент перемещается вдоль линии стыка. Доведенный до пластичного состояния основной материал проходит вокруг инструмента, где он уплотняется в результате действия силы, приложенной опорным буртом инструмента.[1]

Жаропрочный алюминиевый сплав АК4-1 - сплав системы Al—Cu—Mg—Fe—Ni. По химическому и фазовому составам они весьма близки к дуралюминам, но вместо марганца в качестве легирующих элементов содержат железо и никель. Эти сплавы хорошо деформируются в горячем состоянии; коррозионная стойкость удовлетворительная. Они отличаются высокой износостойкостью, удовлетворительно соединяются точечной и шовной сваркой, хорошо обрабатываются резанием. Сплав АК4-1 применяется машиностроении и авиастроении при создании деталей ГТД, ГТУ (крыльчатые насосы, компрессоры, заборники, диски, лопатки).

Для отработки технологии СТП применялся листовой материал толщиной 3 мм закаленный и естественно состаренный со следующими характеристиками: предел прочности $\sigma_b=430$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{0,2}=375$ МПа, относительное удлинение $\delta=7\%$.

Разработка технологии проводилась на базе лаборатории кафедры "Инновационные технологии машиностроения" Пермского национального исследовательского политехнического университета. Опытные работы велись на специализированной исследовательской установке для сварки трением с перемешиванием I-Stir PDS5 (MTS, США).

Отправной точкой при выборе параметров СТП была выбрана отработанная ранее технология сварки жаропрочного алюминиевого сплава 1151АТ. Основной задачей является получение соединения удовлетворяющего требованиям к сварным швам II категории по ТУ08.018 (согласно ТУ08.018 предел прочности должен быть не менее 80% от прочности основного материала). Для отработки технологии СТП был изготовлен инструмент в форме усеченного конуса с тремя крупными резьбовыми насечками (рис.1). Элементы конструкции инструмента увеличивают трение и способствуют перемешиванию. Резьбовые насечки при положительном вращении шпинделя и направляют пластифицированный металл вниз к корню шва, а спиральная канавка на торце опорного бурта препятствуют появлению излишнего облоя.

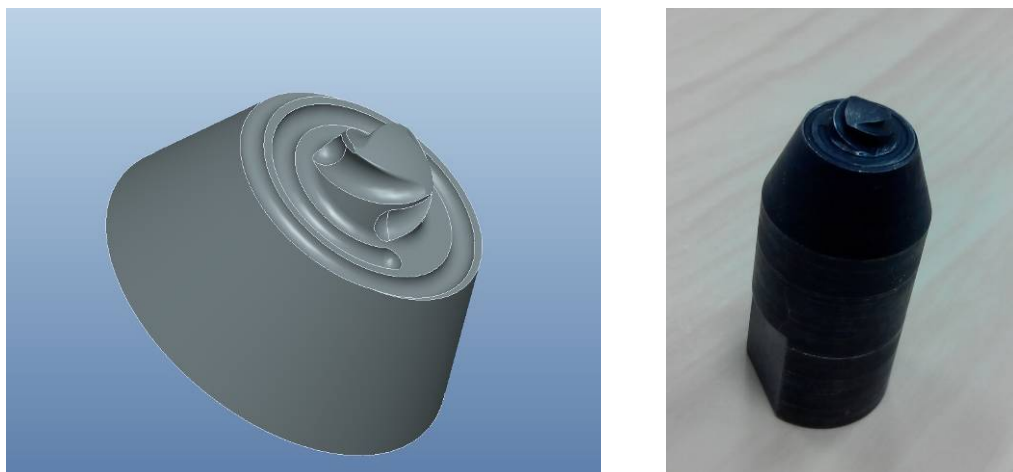


Рис. 1. Инструмент для СТП: усеченный конус с крупными резьбовыми насечками

Одним из главных критических факторов, которые могут сказаться на качестве сварного соединения, является качество стыка пластин. Во избежание появления непровара и микропор в материале шва пластины должны стыковаться без зазора, поэтому пластины обрабатываются в паре. Для улучшения качества соединения при эксперименте края пластин на линии стыка и стальная подложка очищаются и обезжириваются, это необходимо для того, чтобы в шов не попали остатки СОЖ и другие включения, способные его охрупчить.

В результате отработки технологии СТП жаропрочного алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм был найден режим, обеспечивающий качество сварного соединения, удовлетворяющее ТУ08.018: осевое усилие 14 кН, скорость продольной подачи $v=280$ мм/мин, частота вращения шпинделя $\omega=500$ об/мин, угол наклона инструмента относительно нормали $\alpha=1,5^\circ$.

Для определения прочностных характеристик были изготовлены образцы по ГОСТ 6996-66. Испытания на разрыв при нормальной температуре показали, что прочность составляет около 80% от прочности основного материала (таблица 1.). Разрыв образцов происходил по границе зоны термомеханического и зоны термического влияния. Характер разрушения вязкий. На рис.2 показан снимок места излома образца при испытании на разрыв. На снимке видно, что структура в шве мелкозернистая и соответствует основному материалу. Исследование микроструктуры не выявило наличие пор и включений (рис.3).



Рис. 2. Вид на разрушенный образец по месту излома



Рис. 3. Микроструктура сварного соединения

Результаты механических испытаний сварных швов сплава 1151АТ,
полученных трением с перемешиванием.

Образец	Макс. нагрузка, кН	Макс. напряжение при растяжении, МПа (σ_B)	Макс. деформация при растяжении, % (δ)
1	10,028	344,433	1,885
2	10,206	344,066	2,109
3	10,129	346,291	1,792
4	10,204	347,344	1,802
5	9,885	344,141	1,935
Среднее значение	10,091	345,255	1,905

Дальнейшие исследования заключаются в оптимизации технологии для повышения прочности сварного шва, а также испытания образцов после повторной упрочняющей термообработки. После подтверждения или улучшения характеристик соединения планируется провести испытания на глубину вытяжку сварной конструкции передней кромки обтекателя авиационного двигателя ПД-14 уменьшенной в масштабе для подтверждения возможности использования данной технологии сварки при производстве ГТД.

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства"

Литература.

7. Винокуров Н.В. Разработка технологии сварки трением с перемешиванием пластин из жаропрочного алюминиевого сплава 1151АТ толщиной 3 мм / Н. В. Винокуров, В. В. Карманов, А. Н. Волегов // Научно-технический вестник Поволжья.– 2013.– № 6.– С. 309-312.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.В. Бачева, Ю.В. Панин, д.т.н, проф. В.В. Карманов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский просп., д. 29

Тел. (342) 2391184, e-mail: tka@pstu.ru

Эксплуатационные свойства деталей во многом определяются качеством поверхности, формируемой в процессе механической обработки. Одним из основных параметров качества поверхностного слоя являются остаточные напряжения (ОН), возникающие в результате действия упругопластических деформаций, при значительном нагреве поверхностного слоя, а также при структурных и фазовых превращениях [1]. Подбор оптимальных способов, вариантов, схем и режимов обработки деталей на стадии их проектирования позволяет своевременно корректировать отклонения величины ОН, возникающих при обработке деталей, для увеличения их качества.

В процессе обработки резанием (точение, фрезерование, шлифование и т.д.) в результате трения на передней и задней гранях режущего инструмента кристаллические зерна вытягиваются в направлении резания, поверхностный слой изделия подвергается пластической деформации. После прекращения резания и удаления режущего инструмента пластически растянутые верхние слои приобретают ОН сжатия, ориентированные по направлению резания. Соответственно этому в нижележащих слоях развиваются уравновешивающие их ОН растяжения. В направлении подачи протекают аналогичные процессы, вызывающие возникновение осевых ОН.

Выделение тепла в процессе резания (вследствие работы деформации и трения) приводит к большим температурным градиентам и температурным напряжениям, которые могут превосходить предел текучести материала. После установления нормальной температуры в поверхностных слоях детали происходит деформация сжатия. Этому препятствуют нижележащие слои. В результате в поверхностных слоях появляются растягивающие ОН, а в нижележащих – напряжения сжатия, уравновешивающие растягивающие напряжения. Таким образом, в зависимости от режимов резания, при-

менения и способов подачи охлаждающей жидкости к режущему инструменту и других факторов в результате обработки резанием в поверхностном слое могут образовываться как сжимающие, так и растягивающие ОН [2].

Определение качества поверхности, уровня и знака ОН после механической обработки может проводиться различными методами, среди которых наиболее широкое распространение получили такие методы, как метод шумов Баркгаузена и метод рентгеновской дифрактометрии. Метод рентгеновской дифрактометрии основан на измерении параметра кристаллической решетки d при дифракции рентгеновских лучей. Величина напряжений в этом случае определяется при сравнении измеренной величины со значением параметра решетки в недеформированном состоянии d_0 . В данной работе для определения влияния различных операций механической обработки на величину ОН использовался рентгеновский анализатор напряжений Xsress 3000 с χ -модифицированным гониометром, установленным на роботе, производства Stresstech Oy (Финляндия) (рисунок 1,2).

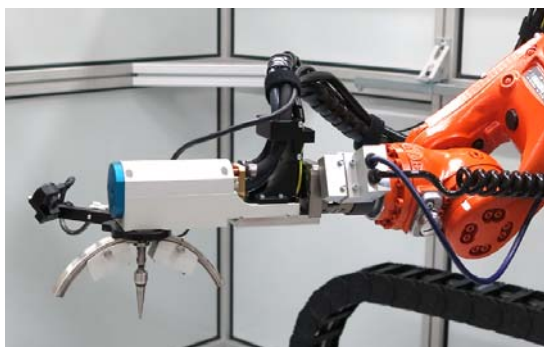


Рис. 1. χ -модифицированный гониометр рентгеновского анализатора напряжений Xsress 3000, установленный на роботе

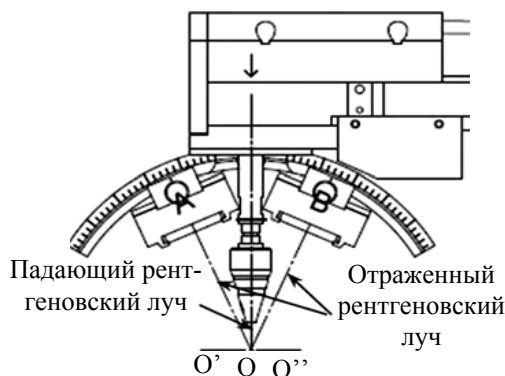


Рис. 2. Измерение напряжений с помощью дифрактометра Xsress 3000 с модифицированным гониометром

При использовании этой схемы измерения межплоскостные расстояния кристаллической решетки d_{χ^+} и d_{χ^-} при углах φ и χ определяются одновременно на двух линейных позиционно-чувствительных детекторах А и В, расположенных симметрично на правой и левой сторонах дуги гониометра (рисунок 3) [3].

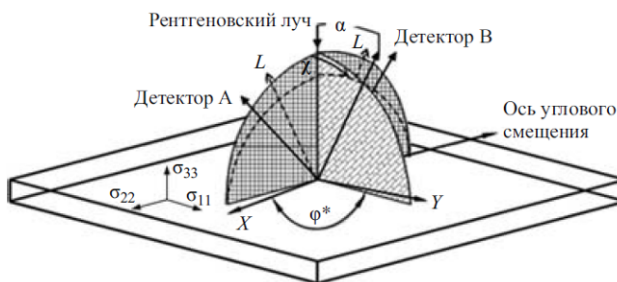


Рис. 3. Модифицированный χ -гониометр [3]
 L – вектор дифракции, биссектриса угла между падающим и отраженным рентгеновским лучом в плоскости дифракции

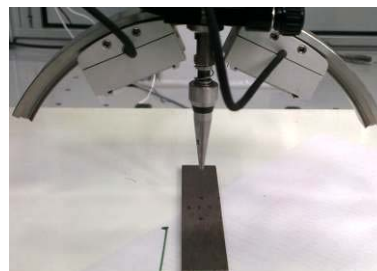
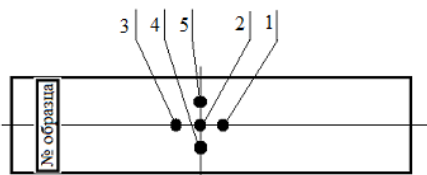
Гониометр рентгеновского анализатора напряжений Xsress 3000, установленный на роботе, обладает следующими характеристиками: линейные датчики изображения с угловым разрешением $0.014 - 0.057$ градусов/пиксель; диапазон 2θ : $125^\circ - 162^\circ$; χ -наклон: программируемый, макс. -60° до $+60^\circ$; χ -осцилляция: программируемая, 0° до $\pm 6^\circ$; φ -осцилляции: с пошаговой регулировкой $\pm 180^\circ$; расстояние между гониометром и точкой измерения автоматически регулируется с точностью до ± 0.003 мм; сменный коллиматор обеспечивает пятна размером $1 - 5$ мм.

В качестве объекта исследования были использованы предварительно обработанные (таблица 1) плоские образцы (неплоскостность поверхности ≤ 1 мм), изготовленные из стали 45.

Режимы обработки тестовых образцов из стали 45		
Номер группы	Обработка	Режимы обработки
1	Фрезерование	фрезерование: Mates 40 HV; диаметр фрезы 32 мм; S = 2000 об/мин; глубина t=0,430 мм; подача F=200 мм/мин
2	Шлифование	шлифование: JPSG - 1224 АН; линейная скорость шлифовального круга 23,1 м/с; ширина круга 31,75 мм; диаметр круга 304 мм
3	Шлифование Полирование	- шлифование: JPSG - 1224 АН; линейная скорость шлифовального круга 23,1 м/с; ширина круга 31,75 мм; диаметр круга 304 мм; - полирование: диаметр полировального войлока 125 мм; линейная скорость полировального круга 23,6 м/с; полировочный компонент паста ГОИ

Параметризация образцов осуществляется на основании технологических требований используемого оборудования, а также с учетом гипотез о наиболее нагруженных участках исследуемых деталей. В соответствии с чем, для исследования выбраны образцы прямоугольной формы с размерами: длина 105 ± 1 мм, ширина $20 \pm 0,2$ мм, толщина $3,0 \pm 0,5$ мм.

Определение ОН в тестовых образцах проводилось в 5 точках, расположенных в центре образца вдоль осей в продольном и поперечном направлении. Схема расположения точек измерения и пример расположения образца под гониометром приведена на рисунке



а) схема расположения точек измерения

б) расположения образца под гониометром

Рис. 2. Схема измерения и пример расположения образца под гониометром

Для определения напряжений в тестовых образцах использовали следующие режимы рентгено съемки: излучение $Cr-K_{\alpha}$, отражающая плоскость (211), угол 2θ 156,4, время экспозиции рентгено съемки 10 сек, напряжение 29,4 кВ, ток 9,16 мА, дуга гониометра 75 мм, положительный χ_+ и отрицательный χ_- наклон равен 40, осцилляция $\Delta\chi = \pm 5$, количество наклонов χ : $N_{\chi_+} = 6$ и $N_{\chi_-} = 6$. Ширина пятна облучения определяется размером диаметра коллиматора. В данном исследовании использовали круглый коллиматор диаметром 2 мм (площадь поверхности исследования составляет $3,14 \text{ мм}^2$).

Соответствующие исследования и испытания были проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» с использованием оборудования Комплекса обеспечения технологического проектирования ПНИПУ (Пермь).

Результаты измерений. Группа 1. Для исследования влияния обработки поверхности методом встречного фрезерования на величину ОН тестовые образцы 1 группы были обработаны последовательно попутным фрезерованием на универсальном фрезерном станке JMD-1452TS DRO с режимами, приведенными в таблице 1.

Из таблицы 2 видно, что в результате фрезерования в поверхностном слое тестовых образцов образовались растягивающие ОН величиной 250-300 МПа.

Таблица 2

Номер образца	Значения ОН в образцах, подверженных фрезерованию									
	Точка измерения									
	1		2		3		4		5	
	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm
1.1	279,3	10,6	358,1	6,0	370,4	5,7	329,9	9,3	329,9	11,2
1.2	305,2	9,2	216,4	6,8	291,2	6,6	271,5	6,6	293,5	11,7
1.3	343,6	6,4	345,0	9,6	372,2	10,4	371,4	9,2	280,3	6,3

На основании полученных результатов можно сделать вывод о повышенных температурах и недостаточном охлаждении с помощью СОЖ в зоне резания.

Группа 2. Исследование влияния обработки поверхности методом шлифования на величину ОН проводилось на образцах 2 группы. Анализ результатов измерений, представленных в таблице 3, показал, что в процессе обработки поверхности шлифованием также формируются растягивающие ОН, что свидетельствует о том, что при обработке с данными режимами решающее влияние на формирование ОН оказывал тепловой фактор.

Таблица 3

Номер образца	Значения ОН в образцах, подверженных шлифованию									
	Точка измерения									
	1		2		3		4		5	
	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm
2.1	300,6	12,4	281,9	14,8	270,1	13,3	285,1	13,3	263,5	11,2
2.2	275,1	15,2	279,2	13,2	280,9	11,9	323,3	12,9	295,6	14,4
2.3	264,2	14,7	290,2	13,6	290,7	13,2	285,8	8,7	260,5	13,8

Пластическая деформация, связанная с усилием резания, при шлифовании имеет второстепенное значение. Изменение условий шлифования, приводящее к повышению температуры резания, приводит к росту остаточных напряжений растяжения или снижению остаточных напряжений сжатия.

Группа 3. По результатам анализа определенных величин ОН тестовых образцов группы 3 можно сделать вывод о формировании в процессе обработки поверхности полированием сжимающих напряжений величиной от -150 до -200 (таблица 4).

Таблица 4

Номер образца	Значения ОН в образцах, подверженных полированию									
	Точка измерения									
	1		2		3		4		5	
	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm	σ , МПа	\pm
3.1	-197,8	4,7	-191,8	5,9	-176	2,9	-153,9	9,4	-190,1	7,1
3.2	-159,1	5,4	-188,2	7,2	-181	8,3	-168,1	7,9	-181,3	8,9
3.3	-201,2	4,8	-211,6	5,4	-189	6,7	-154,1	8	-199,4	5,1

ОН изменили характер с растягивающих на сжимающие, и их величина снизились на 90-130 МПа. При полировании формируются сжимающие остаточные напряжения способствующие повышению циклической прочности, износостойкости, отражательной способности коррозионной стойкости поверхности изделия, а также происходит удаление дефектов предыдущих операций в виде разрушенной структуры, микротрещин и т. п.

Таким образом, проведение финишной обработки поверхности изделия полированием приводит к благоприятным изменениям физико-механических свойств поверхностного слоя без существенного влияния на изменение формы и размеров изделия.

Верификация полученных результатов проводилась при помощи контрольного испытания, при котором аналогичные образцы подвергались воздействию известной внешней нагрузки по схеме чистого изгиба двухопорной балки. Для такой схемы нагружения известны теоретические способы определения величины возникающих в балке напряжений, что в пределах упругости позволяет сравнить эту величину с экспериментально определенными значениями.

При этом значения ОН, полученные при измерении, отличаются от созданных с помощью изгиба напряжений на величину, соответствующую напряженному состоянию, вызванному предшествующей механической обработкой, при котором внешняя нагрузка была равна нулю (рисунок 3).

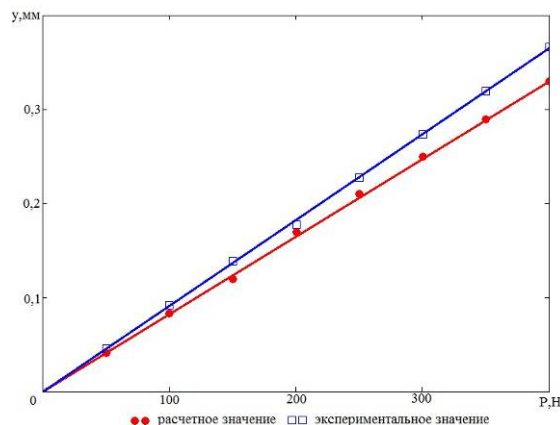


Рис. 3. Расчетные и экспериментальные значения напряжений тестового образца, возникающие при чистом изгибе, в зависимости от величины приложенной нагрузки

Для всех тестовых образцов графики зависимости расчетных и экспериментально полученных значений напряжений от приложенной нагрузки имеют аналогичный вид.

Анализ результатов, приведенных в данной работе, показал, что для формирования сжимающих остаточных напряжений в деталях, к которым предъявляются требования высокой циклической прочности, износостойкости, коррозионной стойкости целесообразно использовать метод полирования в качестве финишной обработки. Значения, полученные в результате контрольного испытания, свидетельствуют о том, что рентгеновский дифрактометр Xsress 3000 позволяет достаточно надежно определять величину и знак поверхностных ОН, производить объективную оценку влияния технологических факторов на величину ОН. Исследования влияния механической обработки на величину ОН в детали дает возможность оптимизации технологических параметров обработки для обеспечения требуемых показателей качества и повышения надежности деталей.

Литература.

1. Кирпичёв В. А., Вакулук В. С., Чирков А. В. Повышение надёжности авиационных деталей регулированием технологических остаточных напряжений // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2009 - № 1. – 127-133 с.
2. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М. : Машгиз, 1963.-232с.
3. Яблокова Н.А., Трофимов В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния лопаток компрессора методами рентгеноструктурного анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013 - №1. – 36-44 с.

НАПЛАВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ РУД¹

Н.А. Козырев, д.т.н., проф., В.М. Шурупов, инж., О.Е. Козырева, инж.,

Д.А. Титов, асп., И.В. Осетковский, студ.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Рациональное использование дорогостоящего вольфрама и его производных является актуальной задачей современного производства. Один из путей – восстановление вольфрама непосредственно из вольфрамсодержащих оксидных материалов минуя процесс получения ферросплавов. В данной работе рассмотрены возможности восстановления оксидов вольфрама углеродистым восстановителем из порошковой проволоки при наплавке под флюсом. В опытах использовали вольфрамовый концентрат марки КШ-4 по ГОСТ 213-83 производства ОАО "Горнорудная компания "АИР" с содержанием 54% WO₃, руду с содержанием 0,372% WO₃ и «хвосты» после обогащения с содержанием 0,07% WO₃. В качестве углеродистого восстановителя использовали углеродфторсодержащие пыле-

видные отходы металлургического производства с химическим составом масс. %: $Al_2O_3 = 21-43,27$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-13$; $K_2O = 0,4 - 6\%$, $CaO = 0,7- 2,1$; $SiO_2 = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-2,3$; $C_{общ} = 12, 5-28,2$, $MnO = 0,03-0,9$, $MgO = 0,04-0,9$, $S = 0,09-0,46$, $P = 0,1-0,18$.

В ранее проведенных работах [1-6] было показано, что данные углеродфторсодержащие пылевидные отходы металлургического производства позволяют: 1) проводить удаление водорода за счет фторсодержащих соединений (типа Na_3AlF_6 , CF_x ($1 \geq x > 0$) и т.д.) с образованием газообразного соединения HF ; 2) осуществлять раскисление сварочной ванны углеродом за счет CO и CO_2 образующихся при взаимодействии фтористого углерода CF_x ($1 \geq x > 0$) с растворенным в стали кислородом; 3) повышать устойчивость горения дуги за счет элементов, облегчающих ионизацию в столбе дуги - калия и натрия. Таким образом: восстановление вольфрама может проходить углеродом по реакции и реагировать с вольфрамом с образованием карбидов W_2C и WC .

В таблице 1 приведены исследуемые составы шихт порошковых проволок, а так же коэффициенты заполнения изготовленных проволок. Выбранное соотношение принято исходя из стехиометрических расчетов с учетом полного восстановления из вольфрамсодержащих материалов углеродом, содержащимся в пылевидных отходах металлургического производства, не только вольфрама, но и кремния, марганца. Соотношение в проволоке выбрано: 111- по стехиометрическому расчету, 112- с двукратным избытком углерода, 331 - с двукратным недостатком углерода, 441- с трехкратным избытком углерода, 551, 661 – по стехиометрическому расчету для руды и «хвостов».

Наплавку производили под флюсом АН 26С с использованием трактора АСАW 1250. Режимы наплавки приведены в таблице 2.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Замеры твердости проводили ультразвуковым твердомером - УЗИТ -3.

Химический состав наплавленного металла и твердость (после наплавки и после термообработки) приведены в таблице 3. Как видно из приведенных выше табличных данных, восстановление вольфрама произошло полностью во всех образцах проволок, за исключением пробы 331 (извлечение составило 96,31%) из-за недостатка восстановителя.

Металлографическое исследование микрошлифов проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при различных увеличениях после травления в спиртовом растворе азотной кислоты, а также в растворе плавиковой кислоты.

Таблица 1

Компонентный состав и коэффициент заполнения изготовленных проволок

№ проволоки	Компонент, масс. %.				Коэффициент заполнения проволоки, %
	1	2	3	4	
111	48,54	51,46	-	-	12,37
112	31,85	68,15	-	-	9,36
331	66,67	33,33	-	-	12,86
441	25	75	-	-	10,76
551	-	50	50	-	8,72
661	-	50	-	50	10,95

1 -концентрат WO_3 , 2- углеродфторсодержащие пылевидные отходы металлургического производства, 3 – вольфрамовая руда, 4- « хвосты» после обогащения вольфрамовых руд.

Таблица 2

Режимы наплавки

№ клейма	I_n (А)	U_d (В)	V_n (м/ч)	Количество наплавленных слоев
111	490	30	28	5
112	490	32	27	5
331	410	27	24	5
441	430	28	24	5
551	420	28	24	5
661	420	28	25	5

Таблица 3

№ пробы	Химический состав и твердость наплавленного металла											
	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Co	Твердость HRC*
111	0,35	0,31	0,49	0,07	0,12	0,13	0,001	0,67	0,008	0,005	0,007	27,2
112	0,29	0,25	0,50	0,07	0,12	0,12	0,001	1,29	0	0,002	0,006	19,2
331	0,13	0,15	0,43	0,06	0,12	0,11	0,001	1,90	0,01	0,03	0,007	30,4/52
441	0,26	0,31	0,43	0,06	0,12	0,10	0,002	0,58	0,01	0,03	0,006	26,2/47
551	0,11	0,34	0,38	0,05	0,12	0,09	0,001	0,02	0,01	0,03	0,005	21,6
661	0,23	0,46	0,33	0,05	0,12	0,08	0,001	0,01	0,01	0,02	0,005	22,1

- - числитель твердость после наплавки, знаменатель после термообработки

Металлографический анализ наплавленных слоев выявил: для образца 111 (рисунок 1) - ярко выраженная видманштеттова структура с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки, расположенной по границам исходных аустенитных зёрен. Размер зёрен соответствует 3 - 4 баллу.

Для образца 112 (рисунок 2) - видманштеттова структура с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки, расположенной по границам исходных аустенитных зёрен. Размер зёрен соответствует 4 баллу.

Для образца 331 (рисунок 3) - зернистая феррито-карбидная структура. Размеры карбидов находятся в пределах 1-5 мкм.

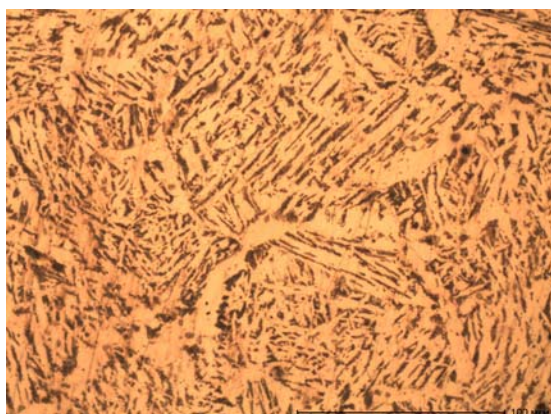


Рис. 1. Образец 111

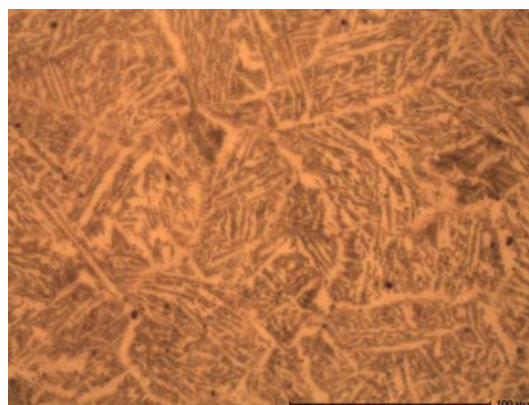


Рис. 2. Образец 112

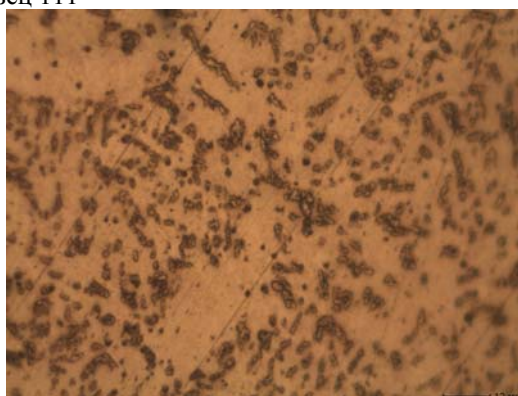


Рис.3. Образец 331

Для образца 441 - видманштеттова структура со значительным количеством тонких игл, внутри зерен. Размер зёрен соответствует 3-баллу

Для образца 551 - структура, состоящая главным образом из феррита с небольшими участками перлита.

Для образца 661 - видманштеттова структура с массивными иглами и толстой ферритной сеткой. Размер зёрен соответствует 3 баллу.

Таким образом, исследования показали принципиальную возможность восстановления оксидов вольфрама из руд углеродсодержащим восстановителем и получения в наплавляемом слое карбидов вольфрама с размерами в пределах 1-5 мкм.

¹Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к

Литература.

1. Влияние углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов на свойства сварных швов / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н., Крюков Р.Е., Голдун З.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 6. – С. 26 – 29.
2. Использование углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В., Крюков Р.Е., В.М. Шурупов // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 10. – С. 35 – 38.
3. Влияние углерод- и фторсодержащих добавок в составе флюсов на содержание неметаллических включений и свойства сварных швов / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Голдун З. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. – 2012. – № 12. – С. 3-6.
4. Влияние флюса АН-60 с углеродфторсодержащей добавкой на качество сварных швов стали 09Г2С/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., С.Н. Старовацкая, А.В. Роор // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 4. – С. 30-33.
5. Разработка добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Роор А. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. – 2013. – № 5. – С. 9 - 12.
6. Исследование влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 на свойства металла сварных швов стали 09Г2С/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Роор А.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 8. – С. 33-36.

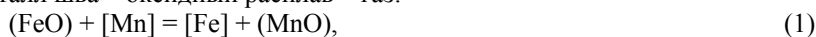
НЕКОТОРЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИ СВАРКЕ ПОД УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМ ФЛЮСОМ

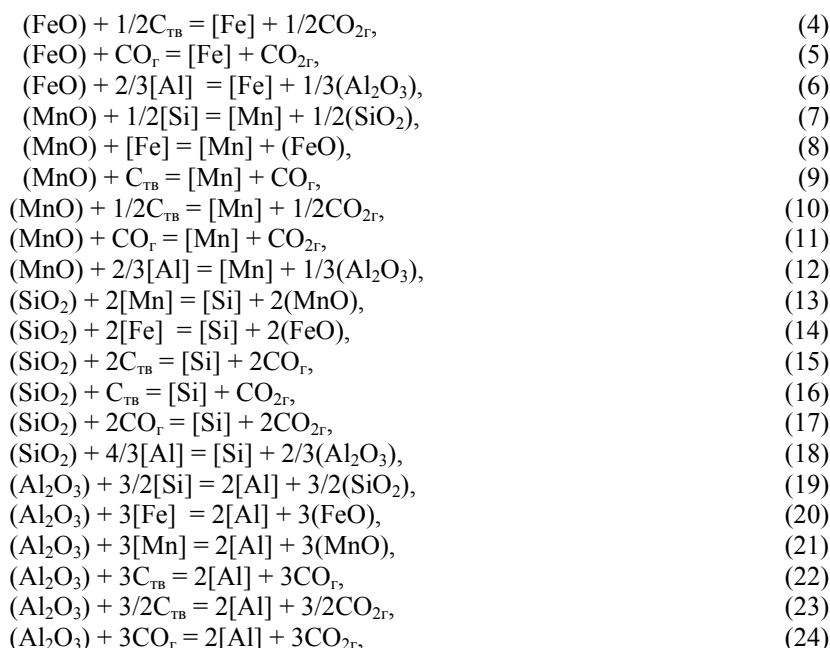
*Р.Е. Крюков, асп., Ю.В. Бендре, к.х.н., Н.А. Козырев, д.т.н., проф.,
Горюшкин В.Ф., д.х.н., проф., Д.И. Махин, студ.*

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия
E-mail: Kozurev_na@mtsp.sibsiu.ru*

Сварка под флюсом сопровождается интенсивными процессами массообмена между жидким расплавленным металлом и шлаком, сформированным из сварочного флюса. Процесс сопровождается реакциями восстановления и окисления марганца, железа и кремния, т.е. обменными процессами с участием кислорода. В настоящее время большинство марок отечественных флюсов, применяемых для сварки низколегированных сталей, являются окислительными и построены на принципах кремне – марганцево окислительно - восстановительных процессов. При этом продуктами данных реакций являются оксидные соединения кремния, марганца, железа, алюминия и др., которые в процессе сварки чаще всего не успевают всплыть и ассимилироваться образующимся из сварочных флюсов шлаком, что приводит к увеличению уровня загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями, в результате чего значительно снижается комплекс физико-механических свойств. Для исключения загрязнения металла шва, по-видимому, целесообразно использование восстановителей, образующих газообразные продукты реакции. Таким восстановителем может быть углерод, образующий при взаимодействии с окислителями газообразные соединения CO_2 и CO .

Оценили термодинамическую вероятность протекания реакций (1) – (24), результатом которых является снижение содержания неметаллических включений в металле сварного шва. При этом сравнили восстановительные свойства углерода с другими восстановителями, присутствующими в изучаемой системе жидкий металл шва – оксидный расплав – газ:





Необходимые для оценки восстановительных свойств термодинамические характеристики реакций (1) – (24) в стандартных условиях $[\Delta_r H^\circ(T), \Delta_r S^\circ(T), \Delta_r G^\circ(T)]$ рассчитывали известными методами [1] в интервале температуры сварочных процессов 1700 – 2200 К по термодинамическим свойствам реагентов $[[H^\circ(T) - H^\circ(298,15 \text{ K})], S^\circ(T), \Delta_r H^\circ(298,15 \text{ K})]$, взятых из справочников [2,3].

При этом, в качестве стандартных для веществ – реагентов в интервале 1700 – 2200 К были выбраны состояния: $\text{FeO}_{\text{ж}}, \text{MnO}_{\text{ж}}, \text{SiO}_{2\text{ж}}, \text{Al}_2\text{O}_{3\text{ж}}, \text{Al}_{\text{ж}}, \text{Si}_{\text{ж}}, \text{C}_{\text{ТВ}}$, графит, $\text{Mn}_{\text{ж}}, \text{Fe}_{\text{ж}}, \text{CO}_{\text{Г}}, \text{CO}_{2\text{Г}}$ в соответствии с реальным агрегатным состоянием фаз в изучаемой системе.

Рассчитанные стандартные энергии Гиббса реакций приведены в табл. 1 и на рис. 1 – 4.

Анализ данных таблицы и графиков показывает, что наиболее высокой восстановительной способностью в системе отличаются Al, C, Si. При этом восстановительная способность кремния с увеличением температуры уменьшается, а углерода, наоборот, увеличивается. В результате углерод становится как восстановитель сильнее кремния выше $T \approx 1940 \text{ K}$, что соответствует нижнему пределу температурного интервала в сварочной ванне при автоматической сварке под флюсом (1973 – 2133 К) [4]. Марганец как восстановитель может быть эффективным лишь для оксида железа в интервале температуры до 1800 К. Выше этой температуры восстановительная способность углерода становится больше, чем у марганца.

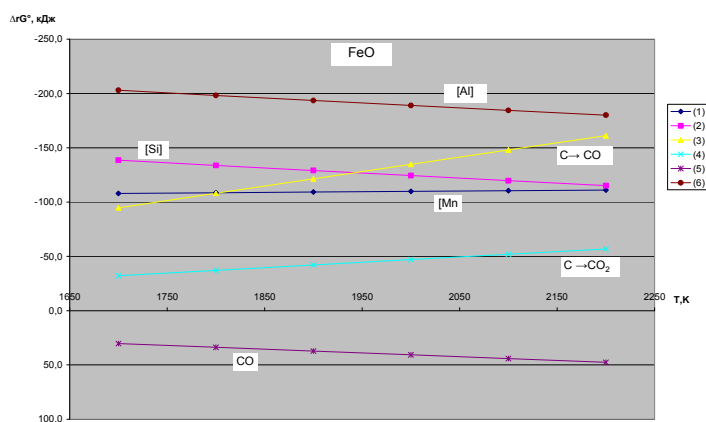


Рис. 1. Стандартная энергия Гиббса реакций (1) – (6) в зависимости от температуры

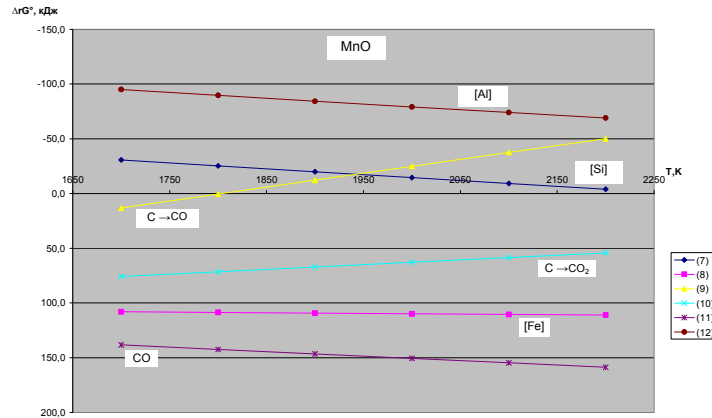


Рис. 2. Стандартная энергия Гиббса реакций (7) – (12) в зависимости от температуры

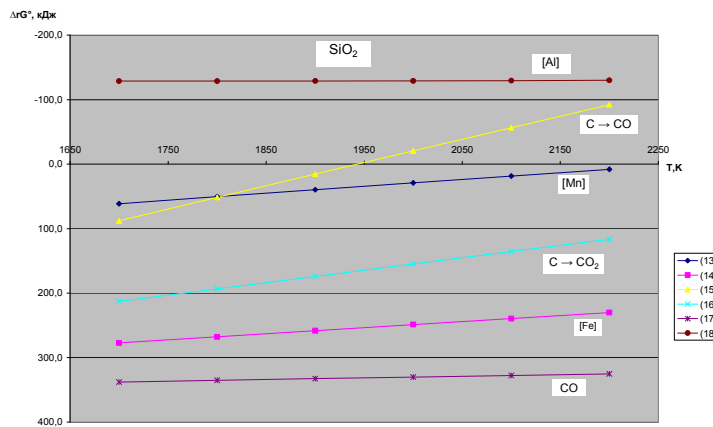


Рис. 3. Стандартная энергия Гиббса реакций (13) – (18) в зависимости от температуры

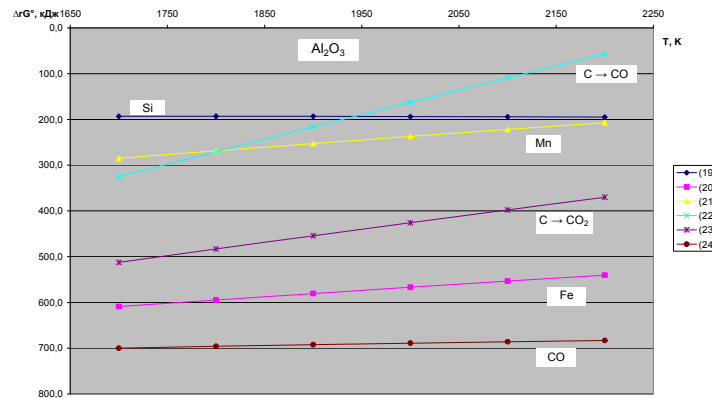


Рис. 4. Стандартная энергия Гиббса реакций (19) – (24) в зависимости от температуры

При температуре выше 2200 К в металле шва может образоваться алюминий в результате взаимодействия оксида Al_2O_3 с углеродом (реакция 22). В этих условиях $\Delta_r G^\circ(22) \approx 0$ и следует ожидать, что константа равновесия реакции:

$$K = \frac{P_{CO}^3 \cdot a_{[Al]}^2}{a_{(Al_2O_3)}}, \quad (25)$$

(где P_{CO} – равновесное парциальное давление CO в газовой фазе; $a_{[Al]}$ – активность алюминия в жидком металле шва; $a_{(Al_2O_3)}$ – активность оксида алюминия в оксидном расплаве) становится близкой к единице. При такой константе равновесия активность алюминия в металле шва, а, следова-

тельно, и его концентрация будут наибольшими для рассматриваемой системы и роль алюминия, как восстановителя может иметь значение. Алюминий является лучшим восстановителем для всех оксидов в системе, однако он может образоваться в металле шва лишь в небольших концентрациях, следовательно, концентрация оксида алюминия образующегося в этом случае по реакциям (6), (12), (18) будет незначительной.

В работах [5-11] были проведены исследования влияния углеродфторсодержащей добавки во флюс на процесс рафинирования и свойства металла сварного шва. Эксперименты проводились на образцах из стали 09Г2С толщиной 16 мм размером 200×500 мм. Сварка стыковых швов без разделки кромок проводилась с двух сторон, как при сварке полотнищ стенок резервуаров на стенде для рулонирования. В качестве присадочного металла использовалась проволока Св-08ГА диаметром 5 мм. Сварку образцов под флюсами проводили на одинаковых режимах. Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены следующие исследования: рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования сварных швов, определение содержания общего кислорода в швах, механических свойств и ударной вязкости швов при температурах -20°C и -40°C . Определение химического состава металла сварных швов на содержание углерода проводили химическим методом по ГОСТ 12344-2003.

Опыты показали, что при использовании углеродфторсодержащей добавки в количестве до 6 % обеспечивается концентрация углерода в шве, соответствующая концентрации углерода в исходном металле (рисунок 5).

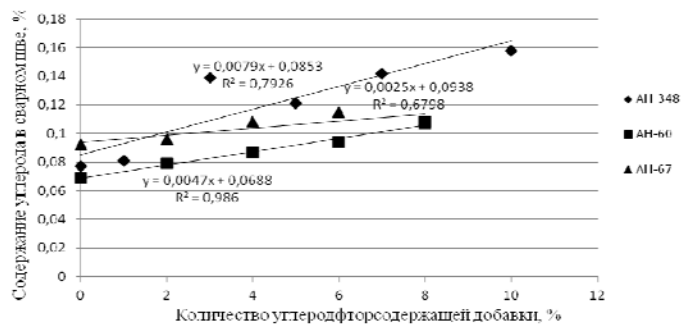
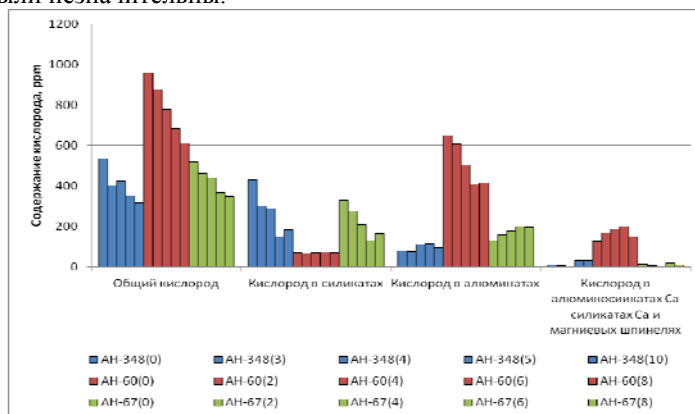


Рис. 5. Влияние углеродфторсодержащей добавки на содержание углерода в сварном шве

Определение кислорода методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» ТС-600 показало, что массовая доля данного газа с повышением содержания добавки во флюсе уменьшалась (рисунок 6). Проведенный фракционный газовый анализ показывал, что в зависимости от окисленности и основности шлаковой системы происходит перераспределение кислорода во включениях. Наибольшее количество алюминатов и алюмосиликатов, неблагоприятно влияющих на физико-химические свойства сварного соединения, содержалось при сварке под флюсом АН-60, при введении добавки наблюдалось снижение количества этих соединений. Во флюсах АН-348 и АН-67 изменения были незначительны.



Примечание: *- в скобках указано процентное содержание углеродфторсодержащей добавки.
Рис. 6. Изменение концентрации общего и фракционного кислорода в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

Металлографические исследования полированных микрошлифов сварных соединений проводились с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при увеличениях $\times 100$, $\times 500$. Микроструктура металла выявлялась травлением в растворе 4 % HNO_3 в этиловом спирте. Структура основного металла всех проб состоит из зерен феррита и пластинчатого перлита (4-5 мкм). В переходной зоне от основного металла к наплавленному наблюдается мелкозернистая структура (1-2 мкм), образовавшаяся в результате рекристаллизации при нагреве в процессе сварки. Заметного отличия структуры швов, выполненных под разными флюсами, не обнаружено.

В образцах, сваренных под флюсами с углеродфторсодержащими добавками, наблюдалось снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями, связанное с уменьшением общего содержания кислорода. Изучение механических свойств (предела текучести, прочности, относительного удлинения и ударной вязкости при отрицательных температурах) на образцах, вырезанных по ГОСТ 6996-66, показало, что уровень свойств значительно повысился. В результате наблюдалось уменьшение неметаллических включений и количества общего кислорода в сварном шве с увеличением содержания углеродфторсодержащей добавки во флюсе.

Таким образом, проведенный термодинамический анализ реакций в системе жидкий металл шва – оксидный расплав – газ подтвердил, что введенный в систему углерод способен за счет высоких восстановительных свойств при $T = 1950 - 2200$ К существенным образом повлиять на содержание неметаллических включений в металле шва в сторону уменьшения и тем самым на повысить комплекс механических свойств и ударной вязкости (особенно при отрицательных температурах).

¹ - Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к

Литература.

1. Термодинамические свойства индивидуальных веществ : Справ. Т.1. Кн. 1 / Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. М. : Наука, 1978. С. 22.
2. Термодинамические свойства индивидуальных веществ [Электронный ресурс] : Т.5, Т.6 / Под ред. В.С. Иориша. – Режим доступа : <http://www.chem.msu.ru/rus/tsiv/>.
3. NIST-JANAF Thermochemical Tables 1985. Version 1.0 [Электронный ресурс] : data compiled and evaluated by M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Dawney, Jr., D.J. Frurip, R.A. Mc Donald, and A.N. Syvernd. – Режим доступа : <http://kinetics.nist.gov/janaf>.
4. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2т. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы: Конищев Б.П., Курланов С.А., Потапов Н.Н. и др. / Под общ. ред. Потапова Н.Н.- М : Машиностроение, 1989 – С. 104.
5. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н., Крюков Р.Е., Голдун З.В.// Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 6. – С. 26 – 29.
6. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В., Крюков Р.Е., В.М. Шурупов// Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 10. – С. 35 – 38.
7. Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Голдун З. В., Ковальский И. Н.// Сварочное производство. – 2012. – № 12. – С. 3-6.
8. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., С.Н. Старовацкая, А.В. Роор// Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 4. – С. 30-33.
9. Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Роор А. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. – 2013. – № 5. – С. 9 - 12.
10. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Роор А.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 8. – С. 33-36.
11. Пат. 2484936 РФ, МПК 8 В23 К35/362 Керамический флюс-добавка/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Голдун З.В.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». –№2012104939/02(007484), заявл. 13.02.2012.

**К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТОВ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*С.И. Петрушин**, д-р техн. наук, профессор, *С.В. Грубый*** д-р техн. наук, профессор,
*С.Е. Лагунов**, студент

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (354-51)6-22-48

E-mail: psi@tpu.ru

***Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

E-mail: gru@bmstu.ru

Металлорежущие инструменты могут служить характерным примером класса тяжело и экстремально нагруженных изделий, так как работают при высоких силовых динамических контактных напряжениях (до 1000 МПа и выше), распределенных крайне неравномерно на ограниченных несколькими квадратными миллиметрами рабочих участках передней и задней поверхностей лезвия, а также нагружены переменными во времени резания тепловыми нагрузками с высоким градиентом температур (от 1000°С до комнатной). При этом лезвие инструмента должно обладать хорошими режущими свойствами, а именно: иметь одновременно высокие жесткость, прочность, твердость, износостойкость, теплостойкость и коррозионную стойкость. Удовлетворить этим подчас противоречивым требованиям чрезвычайно трудно и поэтому долговечность режущих инструментов составляет всего часы и минуты интенсивной эксплуатации в отличие от других деталей машин и конструкций, рассчитанных на годы своего жизненного цикла. Одним из главных из путей создания лезвийных режущих инструментов качественно нового уровня, соответствующих жестким условиям эксплуатации, является их проектирование и изготовление из композиционных инструментальных материалов [1].

До последнего времени исследование и разработка композиционных материалов относилось в основном к сфере интересов материаловедения. При этом после изобретения нового композита изучались его физико-механические свойства и предпринимались более или менее успешные попытки найти области эффективного применения данного материала. В отличие от этого, предлагается другой подход к проблеме [2], основанный на проектировании изделия, заданные свойства и качества которого должны обеспечиваться за счет соответствующей композиции его материала. Это требует объединения знаний в области конструирования изделий (сопромат, теплофизика, механика деформируемого твердого тела и др.) с научно-техническими достижениями в материаловедении.

Как установлено в работе [3], стремление проектировщиков придать изделию максимально возможные эксплуатационные характеристики не является экономически оправданным в связи с конечностью срока его службы. Более рациональным, на наш взгляд, является проектирование изделия на принципах равномерного распределения эксплуатационных свойств во всех его частях с последующим обеспечением экономически обоснованного срока службы. Отсюда вытекают частные принципы оптимизации конструкции, два из которых (равнопрочность и равномерное изнашивание) рассмотрены в [1] применительно к металлорежущим инструментам. При этом под равнопрочностью лезвия инструмента понимаются такие условия его нагружения сосредоточенными силами или контактными напряжениями, при которых внутри него или на его поверхности в каждой материальной точке получается одинаковое напряженное состояние. Под условием равномерного изнашивания (самозатачивания) лезвия понимается такая его форма и физико-механические свойства поверхностного слоя трущихся участков, при которых во всех точках приращение износа во времени имеет одну и ту же величину. Характерно, что выполнение обоих этих условий можно достичь тремя способами: оптимизацией формы режущей части, оптимизацией свойств материала в композиционном лезвии инструмента и совместной оптимизацией формы и структуры. Основой для решения этих задач является теория упругости анизотропных клиновых тел и дифференциальное уравнение изнашивания трущихся поверхностей.

Для достижения поставленных целей проектирования инструментальный материал должен иметь градиентную структуру, то есть быть существенно анизотропным в объеме. При этом важную роль в обеспечении монолитности инструментального композита играют межслойные термические остаточные напряжения, обусловленные технологией получения [4]. В работе [2] рассмотрены условия и сочетания материалов, при которых обеспечивается требуемая трещиностойкость слоистых и клиновых композиционных режущих лезвий. Эти решения позволяют ввести ограничения на инст-

рументальные композиты, как по соотношению толщин смежных слоев, так и по введению слоев с промежуточными характеристиками.

Основными факторами, позволяющими ответить на вопрос, какая композиция инструментальных материалов должна быть осуществлена в той или иной конструкции режущего инструмента, являются условия равнопрочности и равномерного изнашивания. Причем для обеспечения равнопрочности лезвия необходимо вначале иметь решение задачи определения напряженно-деформированного состояния, полученного на основе либо теории упругости, либо метода конечных элементов [2]. Затем, проведя инверсию закона Гука ($E = const/\varepsilon$), можно получить оптимальное распределение модуля упругости инструментального материала в режущем клине. Условие равномерного изнашивания достигается путем обеспечения постоянного приращения износа во времени в каждой точке трущихся поверхностей за счет варьирования интенсивностью изнашивания и перехода к тому или иному инструментальному материалу, нанесенному на поверхность.

Отметим, что в зависимости от задаваемых исходных параметров решение рассмотренных выше задач оптимального проектирования даёт целый спектр оптимальных решений по частным целевым функциям прочности и износостойкости, что позволяет выбрать однозначное решение путём их сравнения с глобальной целью проектирования – получение требуемого экономически обоснованного срока службы инструмента [3]. Это уже не задачи анализа и оптимизации конструкции режущей части, а задача его синтеза. В общем виде процесс создания оптимального с рассматриваемой точки зрения проекта лезвия инструмента должен иметь следующую последовательность.

1. Определение оптимальной долговечности изделия на основе экономически обоснованного срока службы машины.

2. Расчет по критерию равнопрочности спектра оптимальных форм лезвия из заданного материала, нагруженного как сосредоточенной, так и распределенной силовой и тепловой нагрузкой.

3. Определение оптимальной структуры материала лезвия заданной формы по условию равнопрочности.

4. Синтез спектра оптимальных решений по форме и вариантов проектов с оптимальным распределением физико-механических свойств материала изделия по условию равнопрочности. Этот этап должен решаться методом последовательных приближений, а именно: получив первое решение по равнопрочной форме, рассматривается соответствующее ей распределение модуля упругости материала лезвия, а затем вновь численным методом создается оптимальный профиль в соответствии с измененным НДС, и так далее. Расчёт ведётся до тех пор, пока форма изделия не начнёт соответствовать структуре его материала с заданной степенью приближения.

5. Расчет спектра оптимальных проектов формы трущихся поверхностей лезвия, изготовленного из определённого материала, по критерию равномерного изнашивания.

6. Определение оптимального распределения трибологических свойств поверхностей трения и поверхностного слоя изделия и на этой основе разработка проектов нанесения селективно структурированных износостойких покрытий.

7. Синтез оптимальных проектов по форме и интенсивности изнашивания трущихся поверхностей, обеспечивающих режим равномерного изнашивания.

8. Оптимизация и синтез оптимальных проектов изделия с равномерно распределёнными свойствами по другим критериям оптимизации (равномерная жёсткость конструкции, одинаковая коррозионная стойкость и т.п.).

9. Синтез спектра равнопрочных и равномерно изнашивающихся форм изделия с оптимизированной структурой его материала.

Последним этапом оптимального проектирования является выбор из полученных технически и технологически возможных вариантов наиболее экономичного путем сравнения его долговечности с экономически обоснованным сроком службы. В результате осуществления этой методологии проектирования должен быть получен оптимальный проект идеального изделия, обладающего для данных условий одновременно требуемой прочностью, износостойкостью и экономичностью.

Из изложенного следует, что практическая реализация полученных теоретических результатов требует совершенствования существующих и разработки новых технологий изготовления изделий. Особенно это относится к методам получения дифференцированного распределения свойств инструментального материала, как по объему, так и на трущихся площадках. Следует надеяться, что развитие в указанном направлении методов послойного синтеза изделий-композитов (особенно селективного

лазерного спекания порошков), ионной имплантации поверхностного слоя, избирательного нанесения нанопорошков и композиционных покрытий и др. в ближайшее время позволит решить эту задачу.

В заключение необходимо заметить, что предложенный в данной статье подход к оптимальному проектированию конструкций инструмента применим к любым функционально нагруженным деталям машин, их соединениям, а также к машине в целом. Для изделий со сложной конфигурацией могут отсутствовать теоретические модели для расчета НДС, температур, жесткости, коррозии, износа и других характеристик. Поэтому целесообразно применять численные методы конечных и граничных элементов, реализованные в виде пакетов прикладных программ в «тяжелых» САПР. При этом данные программные продукты должны быть дополнены итерационными циклами выравнивания эксплуатационных свойств во всех частях и зонах изделия в соответствии с изложенными принципами.

Литература.

1. Петрушин С. И. Оптимальное проектирование рабочей части режущих инструментов. – Томск, Изд. ТПУ. – 2008. – 195 с.
2. Петрушин С. И., Сапрыкин А. А., Дуреев В. В. Проектирование и производство изделий из инструментальных композиционных материалов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 205 с.
3. Петрушин С. И., Губайдулина Р. Х. Организация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 200 с.
4. Petrushin S. I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials // Applied mechanics and materials issn: 1660-9336. – 2013. – n°. с. 95-100.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЕМ ПОСТРОЕННЫЕ НА БАЗЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА

И.В. Смирнов, к.т.н., доц., А.И. Смирнова, к.т.н., Д.И. Архипкин, инженер

ООО «Сертификационно-диагностический центр «Дельта»

445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Белорусская, 3, тел./факс (8482) 55-62-68

E-mail: ivansmirnov32@gmail.com

Введение

Проведённые в последние годы исследования показывают, что применение способа дуговой сварки металлов в защитных газах с управляемым тепловложением [1] позволяет существенно повысить энергоэффективность технологических процессов сварки, выраженную в сокращении до 50% затрат энергии на образование единицы площади поперечного сечения сварного шва [2,3]. Высоким показателем энергоэффективности отличается и сварочное оборудование, специально разработанное для реализации процесса дуговой сварки с управляемым тепловложением. Установлено, что установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением, обеспечивают увеличение коэффициента полезного действия от 2 до 19% по сравнению с традиционным инверторным источником питания [4,5].

В работе [6] установлено, что наиболее востребованными в производстве могут явиться две модификации установок для сварки с управляемым тепловложением:

1. Установки, основанные на применении внешнего коммутационного блока в сочетании с традиционным инверторным источником питания;
2. Установки, построенные на основе двух независимых инверторных источников с половинной номинальной мощностью, соединенных на выходе одним общим проводом.

Максимальную энергоэффективность сварочного процесса и сварочного оборудования способно обеспечить только второе техническое решение. Однако, существующие конструкции таких установок обладают рядом недостатков, в виде низкой универсальности установок и их высокой стоимости. Это ограничивает широкое внедрение энергоэффективной техники и технологий в сварочное производство. Поэтому весьма актуальными являются работы, направленные на расширение универсальности, оптимизации комплектации и стоимости установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением.

Основная часть

Мировая практика показывает, что наиболее эффективным способом расширения универсальности и оптимизации стоимости оборудования, является построение оборудования на базе принципов агрегатирования. Применительно к нашему случаю, сварочная установка должна быть разбита на

отдельные, функционально и конструктивно законченные, блоки и модули, из которых, в дальнейшем, могут быть собраны несколько различных модификаций сварочных установок.

Для рационального выбора степени дробления конструкции установок для дуговой сварки на блоки и модули, была разработана «Методика исследований по выбору степени дробления конструкции установки для сварки на блоки и модули». Главными критериями оптимизации для разбиения установки на блоки и модули будут являться:

- минимум числа образующихся модулей
- минимум числа межмодульных соединений
- минимум внешних выводов на модулях
- минимальная стоимость каждого модуля.

В результате реализации Методики дробления конструкции на блоки и модули, была разработана карта топологических модификаций блочно-модульной схемы построения сварочных установок для сварки с управляемым тепловложением (см. рисунок 1). Блочно-модульная конструкция установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением состоит из пяти модулей (инверторный двухполюсный источник питания СМТ-2, коммутационный модуль, механизм подачи присадочной проволоки для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (механизм подачи АД), механизм подачи электродной проволоки для сварки в защитном газе плавящимся электродом (механизм подачи МП) и высоковольтный осциллятор), на базе которых строятся девять топологических модификаций сварочных установок.

Были спроектированы и изготовлены все пять модулей блочно-модульной конструкции установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением.

Блочно-модульная конструкция установок рассчитана на реализацию процессов сварки неплавящимся электродом, и процессов сварки с управляемым тепловложением плавящимся электродом, энергоэффективность которых экспериментально показана в работе [7].

На рисунке 2 показан внешний вид двухполюсного инверторного источника питания марки СМТ-2.

Источник питания серии СМТ-2 является универсальным сварочным аппаратом, предназначенным как для автономной работы при ручных способах сварки, так и для работы в составе автоматических сварочных комплексов, и может быть использован для трёх разновидностей сварочных процессов

- аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом;
- механизированная или автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитного газа;
- ручная дуговая сварка плавящимся покрытым электродом.

В настоящее время источник питания серии «СМТ-2» выпускается на базе силовой части аппарата «Форсаж-302» ОАО «Государственный рязанский приборный завод». Источник питания рассчитан на питание сварочной дуги с номинальным током до 300А.

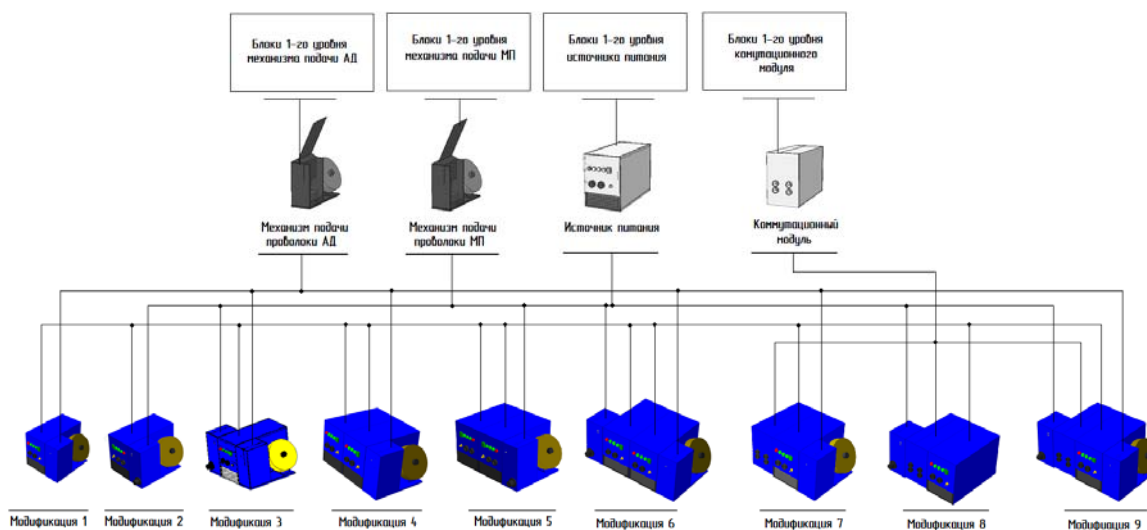


Рис. 1. Карта топологических модификаций блочно-модульной схемы построения сварочных установок для сварки с управляемым тепловложением



Рис. 2. Внешний вид двухполюсного инверторного источника питания марки СМТ-2

На рисунке 3 представлен внешний вид коммутационного модуля установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением. Особенностью модуля является то, что он имеет два разнополюсных входа (положительный и отрицательный) и четыре выхода, два из которых коммутируемые положительные полюса (для сварки неплавящимся электродом), и два коммутируемые отрицательные полюса (для сварки плавящимся электродом).



Рис. 3. Внешний вид коммутационного модуля установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением



Рис. 4. Внешний вид блока-осциллятора установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением

На рисунке 4 представлен внешний вид блока-осциллятора установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением. Работая совместно с источником питания дуги, осциллятор обеспечивает ее возбуждение наложением на сварочную вторичную цепь высокого напряжения (порядка 10000 В) и высокой частоты (150—250 кГц). На лицевой панели осциллятора расположены три байонетных разъёма. Верхний разъём выходной, и предназначен для присоединения сварочной горелки для аргонодуговой сварки. Два нижних разъёма входные, и предназначены для подключения одного, в случае традиционной сварки, или двух, в случае сварки с управляемым тепловложением, кабелей от отрицательных полюсов источников питания.

На рисунке 5 представлен внешний вид механизма подачи электродной проволоки для сварки плавящимся электродом. На рисунке 6 представлен внешний вид механизма подачи присадочной проволоки для сварки неплавящимся электродом с присадкой. Оба механизма подачи проволоки не имеют внешних органов управления, и соединяются с системой управления источника питания и панелью оператора установки по цифровому интерфейсу (протокол ModBus).

На рисунке 7 представлен внешний вид собранного комплекта блочно-модульной конструкции сварочной установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением. Комплект собран в виде модификации №6 (см. рисунок 1). Данный комплект является наиболее полным и технически сложным из всех девяти возможных модификаций и обеспечивает возможность осуществления процесса энергоэффективной сварки с управляемым тепловложением двумя способами сварки: аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с присадочной проволокой и сварка в среде защитного газа

плавящимся электродом. При желании данный комплект можно легко использовать для осуществления традиционных процессов дуговой сварки в защитных газах на двух отдельных сварочных постах.



Рис. 5. Внешний вид механизма подачи электродной проволоки для сварки плавящимся электродом



Рис. 6. Внешний вид механизма подачи присадочной проволоки для сварки неплавящимся электродом с присадкой



Рис. 7. Комплект блочно-модульной конструкции сварочной установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением (слева направо: механизм подачи электродной проволоки для сварки плавящимся электродом, источник питания СМТ-2, внешний осциллятор, источник питания СМТ-2, механизм подачи присадочной проволоки для сварки неплавящимся электродом)

Выводы и обсуждение

Предложенный блочно-модульный подход к построению установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением позволяет на базе всего пяти универсальных независимых модулей построить девять различных по назначению, сложности и ценовой категории модификаций сварочных установок.

Практическая реализация блочно-модульного принципа построения установок для дуговой сварки в защитных газах позволяет обеспечить высокую универсальность сварочного оборудования. На предлагаемом оборудовании можно реализовать как минимум четыре различных процесса сварки: два процесса традиционной сварки в защитном газе (сварка плавящимся и неплавящимся электродом), и два энергоэффективных процесса сварки с управляемым тепловложением (также сварка плавящимся и неплавящимся электродом). Это позволяет обеспечить достаточно обширный набор технических характеристик сварочного оборудования и оптимизировать стоимость комплекта оборудования.

Разработка блочно-модульной конструкции установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением позволила устранить два основных недостатка выпускаемых ранее установок: это низкая универсальность таких установок в сочетании с их высокой стоимостью.

Выводы:

1. Применение принципа блочно-модульного построения конструкции установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением позволяет существенно расширить универсальность выпус-

каемого сварочного оборудования и оптимизировать его стоимость в зависимости от решаемых на производстве задач.

2. Все пять блоков и модулей, предназначенных для комплектации блочно-модульных установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением, спроектированы и выпущены малой партией в виде промышленных образцов сварочной техники. Модули прошли необходимое тестирование и технические испытания.

Заключение

Проведённые опытно-конструкторские работы позволили создать промышленные образцы пяти универсальных модулей, из которых собраны девять различных топологических модификаций блочно-модульных установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением. Полученные конструкторские решения позволяют существенно расширить функциональность и универсальность установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением и оптимизировать их стоимость. Завершённость предложенных конструкторских решений создаёт предпосылки к переходу на этап серийного производства блочно-модульной конструкции установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением.

Литература

1. Патент на изобретение №2401726 Российская Федерация МПК В23К9/08. Способ сварки в защитном газе неплавящимся электродом магнитоуправляемой дугой / Смирнов И.В., Сидоров В.П., Захаренко А.И. // Бюл. №29. опубл. 20.10.2010.
2. Сидоров В.П., Смирнов И.В., Смирнова А.И., Добровольский В.Г., Архипкин Д.И. Экспериментальные исследования энергоэффективности процесса аргонодуговой сварки с управляемым тепловложением // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2012 - №8 – с. 131-136.
3. Смирнов И.В. Смирнова А.И., Архипкин Д.И., Мартюшев А.В. Экспериментальная оценка энергоэффективности технологии дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом с управляемым тепловложением // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2013 - №4, часть 22012 - №8 – с. 138-141.
4. Сидоров В.П., Смирнов И.В., Хурин С.А., Смирнова А.И. Оценка энергоэффективности инверторного источника питания для дуговой сварки с управляемым тепловложением // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2011 - №11 – с. 96-102.
5. Смирнов И.В., Сидоров В.П., Хурин С.А., Смирнова А.И., Добровольский В.Г., Гилязов Э.С. Сравнение показателей энергоэффективности традиционного инверторного источника питания для дуговой сварки и инверторного источника питания для сварки с управляемым тепловложением // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2012 - №8 – с. 138-141.
6. Смирнов И.В., Смирнова А.И., Архипкин Д.И. Эффективность применения различных топологий установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением в зависимости от условий производства сварочных работ // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2012 - №12 – с. 103-107.
7. Смирнов И.В. Смирнова А.И., Архипкин Д.И., Мартюшев А.В. Экспериментальная оценка энергоэффективности технологии дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом с управляемым тепловложением // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2013 - №4, часть 2 - №8 – с. 138-141.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, П.В. Архипов

Братский государственный университет

1665709, Россия, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко, 40,

E-mail: yanyushkin@brstu.ru, mf_nauka@brstu.ru, pavded@yandex.ru

Введение

Эффективная обработка изделий из твердых сплавов является актуальной задачей в условиях современного машиностроительного производства [1, 4, 6, 7]. Применяемые на предприятиях методы абразивной обработки твердых сплавов не всегда позволяют обеспечить заданные параметры точно-

сти и качества [2, 3, 5]. Широко распространенные абразивные инструменты, используемые для обработки твердых сплавов, в большинстве случаев не позволяют решать поставленные задачи, а применение производительного инструмента из сверхтвердых абразивных материалов ограничено, в виду проблем, связанных с восстановлением их режущих свойств [5, 9, 11, 13]. Повышение эффективности применения синтетических абразивных материалов при изготовлении изделий из твердосплавных и высокопрочных материалов возможно за счет решения комплекса фундаментальных, конструкторских и технологических задач.

Анализ состояния проблемы обработки современных высокопрочных твердосплавных материалов позволил отметить перспективность физико-химических и комбинированных методов обработки [3, 9, 11, 13, 19]. Комбинированные методы позволяют совместить в одном процессе несколько методов в различном сочетании, что приводит к повышению эффективности процесса обработки. Авторами [4, 9, 11] отмечается, что распространенными видами комбинированной обработки твердых сплавов является электрохимическое шлифование, которое выполняют токопроводящим алмазным кругом на металлической связке, являющимся катодом, шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга, а также комбинированное электроалмазное шлифование. Однако, четких и единых рекомендаций по выбору видов и режимов комбинированной обработки твердых сплавов не выработано.

В связи с этим значительный интерес представляет исследование особенностей влияния электрических режимов комбинированной электроалмазной обработки на качество шлифования твердых сплавов.

Материал и методика исследования

В данном исследовании оценивалось качество обработанной поверхности твердых сплавов при комбинированном методе электрохимического шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга. За оценочный параметр качества выбрана шероховатость обработанной поверхности [2, 3, 5].

Сущность метода заключается в анодном растворении продуктов шлифования, которые образуются на поверхности шлифовального круга, что обеспечивает работу круга в режиме самозатачивания, и одновременном электрохимическом разупрочнении рабочей зоны обрабатываемого твердого сплава. Метод обеспечивает постоянные режущие свойства шлифовального круга, а с другой стороны, под действием анодно-химических процессов увеличивается удельный съем материала заготовки, за счет этого повышается производительность и снижается расход алмазных кругов. Технология реализована с использованием разработанных методик и спроектированной специальной оснастки [6, 8, 10, 12, 14-18].

Анализ методов электроалмазного шлифования позволил выявить следующие факторы, влияющие на процесс обработки: плотность тока правки $i_{пр}$ [А/см²], плотность тока травления $i_{тр}$ [А/см²], скорость резания V [м/с], глубина резания t [мм/дв.х] и подача S [м/мин]. В условиях одного и того же аппаратного оформления процесса обработки данные факторы достаточно полно отражают технологию электроалмазного шлифования.

Для проведения исследований выполнено планирование экспериментов, необходимое для сведения к минимуму количества опытов в ходе определения математической модели исследуемого процесса с целью сокращения материальных затрат и времени. В данном случае проводились исследования изменения условий и параметров комбинированной обработки от электрических режимов обработки твердых сплавов: плотности тока правки круга $i_{пр}$ (А/см²) и плотности тока травления детали $i_{тр}$ (А/см²). Таким образом, количество факторов $k = 2$, количество опытов – 4.

Режимы обработки выбраны в соответствии с рекомендациями, гарантирующими высокое качество поверхности, разработанные ранее [11, 19]. Согласно рекомендациям плотность тока правки круга должна быть не более $i_{пр} = 0,1 \dots 0,4$ А/см², плотность тока травления детали – $i_{тр} = 10 \dots 40$ А/см², продольная подача – $S = 1,0 \dots 2,0$ м/мин, поперечная подача – $t = 0,01 \dots 0,04$ мм/дв.ход, скорость – $V = 15 \dots 40$ м/с.

В качестве выходного параметра исследовалась шероховатость обработанной поверхности R_a [мкм]. Состояние обработанных поверхностей изделий из твердых сплавов контролировалось с использованием современной техники визуального и структурного анализа.

Материалами для проведения исследований выбраны твердые сплавы нескольких марок ВКЗМ (WC-97%, Co-3%, М – мелкозернистый), ВК8 (WC-92%, Co-8%), ВК15 (WC-85%, Co-15%), ТН20 (TiC-79%, Ni-15%, Mo-6%), в виду их широкого применения на производстве в качестве конструктивных и инструментальных материалов.

В исследованиях использовались алмазные круги на металлической токопроводящей связке марки М1 - 01 и М2 – 01 зернистостью 100/80 и 80/63.

В качестве электролита применялся раствор солей: 0,5 % Na_2CO_3 и 1 % NaCl в воде. Согласно показаниям кондуктометра КСЛ-101, проводимость электролита составила 26 См/см, содержание солей – 20 г/л.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам исследования сплава ВК3М зависимость шероховатости R_a [мкм] обработанной поверхности от электрических режимов обработки i_{np} [А/см²] и $i_{тр}$ [А/см²] имеет вид:

$$R_a = 0,2157 + 0,0174 \cdot i_{np} - 0,00065 \cdot i_{тр} - 0,0106 \cdot i_{np} \cdot i_{тр}$$

Поверхность отклика исследуемого параметра представлена на Рисунке 1.

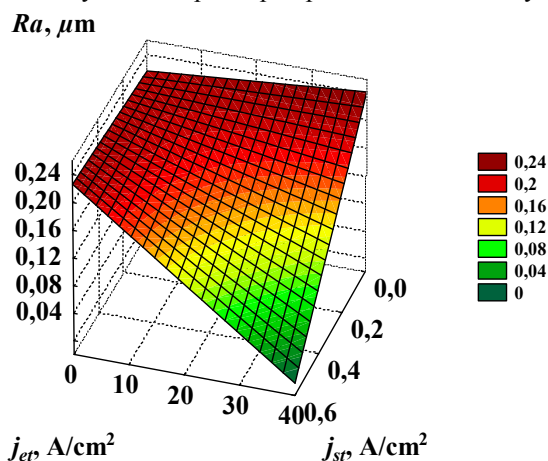


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности сплава ВК3М от электрических режимов комбинированного электроалмазного шлифования

Обработка твердого сплава ВК8 позволила получить зависимость шероховатости R_a [мкм] обработанной поверхности от электрических режимов обработки i_{np} [А/см²] и i_{mp} [А/см²] следующего вида:

$$R_a = 0,3286 + 0,1376 \cdot i_{np} - 0,00568 \cdot i_{mp} - 0,0017 \cdot i_{np} \cdot i_{mp}$$

Поверхность отклика по результатам экспериментальных исследований представлена на Рисунке 2.

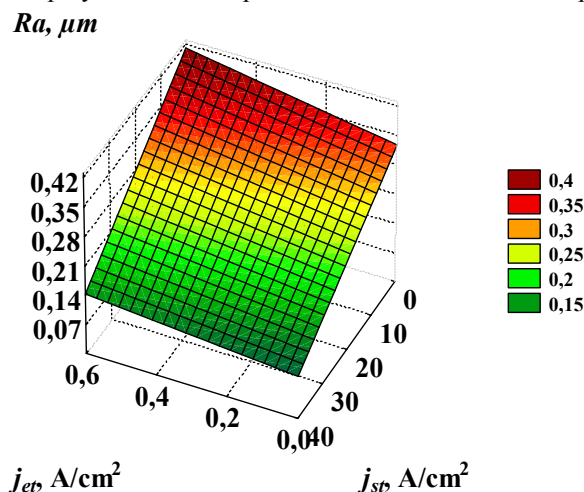


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности сплава ВК8 от электрических режимов комбинированного электроалмазного шлифования

По результатам исследования сплава ВК15 зависимость шероховатости R_a [мкм] обработанной поверхности от электрических режимов обработки i_{np} [А/см²] и i_{mp} [А/см²] имеет вид:

$$R_a = 0,456 + 0,1098 \cdot i_{np} - 0,0083 \cdot i_{mp} - 0,0069 \cdot i_{np} \cdot i_{mp}$$

Поверхность отклика исследуемого параметра представлена на Рисунке 3.

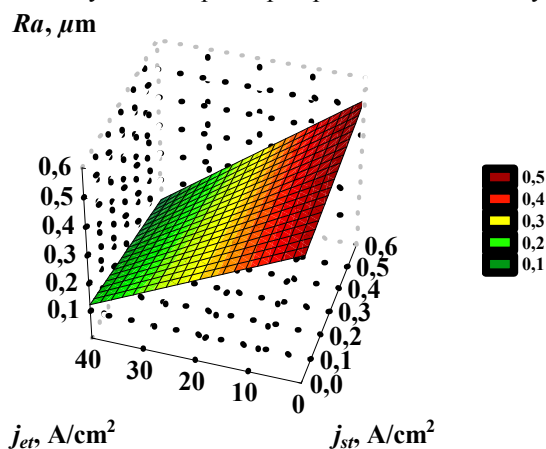


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности сплава BK15 от электрических режимов комбинированного электроалмазного шлифования

Обработка сплава ТН20 позволила получить зависимость шероховатости R_a [мкм] обработанной поверхности от электрических режимов обработки i_{np} [A/cm²] и i_{mp} [A/cm²] следующего вида:

$$R_a = 0,2685 + 0,0618 \cdot i_{np} - 0,0018 \cdot i_{mp} + 0,0054 \cdot i_{np} \cdot i_{mp}$$

Поверхность отклика по результатам экспериментальных исследований представлена на Рисунке 4.

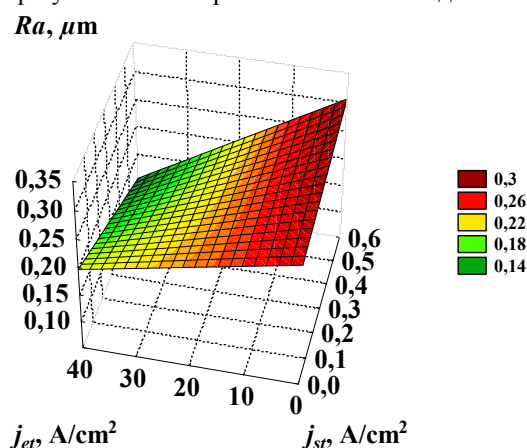


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности сплава ТН20 от электрических режимов комбинированного электроалмазного шлифования

Выводы

Таким образом, экспериментально подтверждено, что применение метода комбинированной электроалмазной обработки изделий из твердых сплавов, за счет сочетания анодного растворения обрабатываемого материала и электрохимической правки алмазного круга, достигается минимальная шероховатость обработанных поверхностей изделий, которая в среднем на 60 % меньше, чем при других методах алмазной и абразивной обработке таких материалов.

Полученные данные позволили определить рациональные электрические режимы комбинированной обработки, обеспечивающие высокое качество обработанной поверхности твердых сплавов $i_{np} = 0,2 \dots 0,3$ A/cm² и $i_{mp} = 20 \dots 30$ A/cm², которые могут быть рекомендованы для полустивовой и чистовой обработки. В качестве рациональных механических режимов обработки приняты режимы: продольная подача $S_{np} = 1,5$ м/мин, поперечная подача $S_{non} = 0,02$ мм/дв.ход, скорость $V = 35$ м/с.

Предлагаемый комбинированный метод обеспечивает высокую производительность и качество обработанной поверхности и рекомендован для рациональной и эффективной обработки изделий из высокопрочных твердосплавных и труднообрабатываемых материалов.

Литература.

1. Б.Я. Мокрицкий, А.А. Бурков, Выбор эффективного металлорежущего инструмента для токарной обработки твердых сплавов низшей группы, Технология машиностроения. 12 (2011) 18-20.
2. А.Г. Суслов, С.Г. Бишутин, Математическая модель шероховатости шлифованной поверхности, Справочник. Инженерный журнал с приложением.. 8 (2004) 17.
3. А.С. Васильев, В.М. Грязев, Определение характеристик поверхностного слоя деталей, обработанных различными способами, Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2-5 (292) (2012) 5-9.
4. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, N.P. Petrov, Optimal organization of tools for machining composites, Russian Engineering Research. 2 (2011) 156-157.
5. D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin, Influence of sharpening on the quality of hard-alloy tools for the cutting of composites, Russian Engineering Research. 3 (2011) 236-239.
6. P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, S.I. Petrushin, The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface, Applied Mechanics and Materials. 379 (2013) 124-130/
7. A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, D.V. Lobanov, Surface quality of the fiberglass composite material after milling, Applied Mechanics and Materials. 682 (2014) 183-187.
8. А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков, В.Ю. Попов, А.А. Сурьев, П.В. Архипов, Е.Д. Лосев, А.В. Яковец, А.С. Черемных, Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке, патент РФ № 2446039 (2010).
9. Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, Влияние методов затачивания на качество твердосплавного инструмента для обработки композиционных материалов, Вестник машиностроения. 3 (2011) 50-53.
10. А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, П.В. Архипов, Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов, Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 1 (2013) 178-183.
11. А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, С.В. Ковалевский. Повышение качества подготовки твердосплавного инструмента, Системы. Методы. Технологии. 1 (2009) 95-98.
12. П.В. Архипов, Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки, Вестник Таджикского технического университета. 2 (2013) 32-37.
13. П.В. Архипов, А.В. Балыков, А.А. Дьяконов, О.Ю. Еренков, В.П. Иванов, Е.Г. Калита, А.Б. Липатова, Д.В. Лобанов, О.И. Медведева, А.В. Морозова, И.В. Шмидт, А.С. Янюшкин, Эффективные технологии механической обработки деталей из неметаллических материалов, Москва, 2014.
14. А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов, В.Ю. Попов, А.А. Сурьев, П.В. Архипов, А.М. Кузнецов, О.И. Медведева, Абразивный круг для электрохимического шлифования с перпендикулярным расположением токопроводящих вставок, патент РФ № 144707 (2014).
15. А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов, В.Ю. Попов, А.А. Сурьев, П.В. Архипов, А.М. Кузнецов, О.И. Медведева, Абразивный круг для электрохимического шлифования с параллельным расположением токопроводящих вставок, патент РФ № 145108 (2014).
16. А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов, В.Ю. Попов, А.А. Сурьев, П.В. Архипов, А.М. Кузнецов, О.И. Медведева, Абразивный круг для электрохимического шлифования с косым расположением токопроводящих вставок, патент РФ № 144708 (2014).
17. А.С. Янюшкин, О.И. Медведева, С.А. Якимов, П.В. Архипов, О механизме разрушения зерен алмаза в процессе электроалмазного шлифования, Системы. Методы. Технологии. 1 (2009) 34-36.
18. П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, С.В. Ковалевский, О природе засаливания шлифовальных кругов, Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2 (2008) 169-174.
19. А.С. Янюшкин, Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации, Старый Оскол, 2013.

**ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ АЗОТОМ ПРИ ПРОДУВКЕ В КОВШЕ
ЧЕРЕЗ ДОННЫЕ И ПОГРУЖАЕМЫЕ ФУРМЫ**

*Р.А. Гизатулин **, д.т.н., проф., *Н.А. Козырев ***, д.т.н., проф., *А.А. Сапрыкин**, к.т.н.,
*О.Ю. Шешуков *****, к.т.н., доц., *Д.А. Дудихин **, студ.

** Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*** Сибирский государственный индустриальный университет*

654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел.: (384) 346-35-02

**** Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина*

620002, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Мира 19, тел.: (343) 350-74-01

***** Институт металлургии УрО РАН*

620016, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101, тел.: (343) 267-91-24

E-mail: gizatulin@tpu.ru

Использование молекулярного азота для насыщения стали представляет значительный интерес ввиду его низкой стоимости и простоты процесса. Примеры использования газообразного азота для легирования стали [1] в соответствии с теорией взаимодействия азота с жидкими металлами показывают, что скорость растворения азота и достигаемые его концентрации в металле зависят от многих факторов, в частности, от размеров пузыря.

Процесс легирования стали азотом базируется на растворении его в режиме массопереноса из пузыря в жидкий металл, скорость, которой описывается уравнением [2]

$$v_p = \frac{dC}{d\tau} = \frac{\beta S n}{V} (C_h - C), \quad (1)$$

где C , C_p – текущая и равновесная концентрации, %;

β – средний эффективный коэффициент массопередачи от пузыря к металлу, см/с;

n – среднестатистическое число пузырей;

V – объем металла, см³;

S – поверхность пузыря, см².

Форма большинства пузырей в условиях продувки близка к грибовидной. Площадь поверхности пузыря можно определить как площадь шарового сегмента и выразить ее через радиус эквивалентного по объему шара

$$S = 18,033 \cdot r_3^2. \quad (2)$$

Среднее число пузырей в металле определили по секунднему расходу газа J , приведенному к температуре и среднему давлению в объеме металла, по среднестатистическому объему пузыря, высоте столба металла H над продувочным устройством, средней скорости всплывания пузырей относительно неподвижных координат, которую для стесненного всплывания можно принять равной

$$u = \xi \sqrt{gr_3}, \quad (3)$$

где ξ – постоянный множитель.

Тогда

$$n = \frac{J}{4/3\pi r_3^3} \cdot \frac{H}{\sqrt{gr_3}} \cdot \frac{T}{273} \left(1 + \frac{H}{290}\right). \quad (4)$$

Среднеравновесную концентрацию, достигаемую за время подъема пузыря от продувочного устройства до поверхности металла можно определить, зная константу равновесия и коэффициент активности азота

$$C_p = \frac{K_N}{2f_N} \sqrt{\frac{1+H}{145} + 1}. \quad (5)$$

Константу равновесия определили по формуле

$$\lg K_N = -\frac{188}{T} - 1,25, \quad (6)$$

а коэффициент активности азота – по методу Вагнера [3]

$$\lg f_N = \sum e_i^j [\% i].$$

Средний эффективный коэффициент массопередачи [2, 4]

$$\beta = \frac{D_N}{\delta}, \quad (7)$$

$$\delta = D_N^{0,5} v^{0,15} \sqrt{\frac{r}{W}}, \quad (8)$$

где $W = 10$ см, $r = 1,55$ см [2];
 $D_N = 3,77 \cdot 10^{-5}$ см²/с, $v = 9 \cdot 10^{-3}$ см²/с [4].

Тогда количество растворившегося в металле азота, % [5]

$$N = v_p \cdot \tau, \quad (9)$$

где τ – время продувки, с.

В опытах использовали донные огнеупорные фурмы фирмы «Вайчер» («Veitsher»). Длительность продувки через щелевые фурмы изменяли от 5 до 72 мин при давлении в магистрали от 0,6 до 0,8 МПа и расходе азота от 40 до 70 нм³/ч. Результаты обработки стали азотом приведены в таблице 1.

Отбор проб для определения содержания азота в стали осуществлялся до обработки стали, а также по ходу и после продувки расплава в ковше. Анализ проводили с использованием метода тигель-вакуумной плавки на газоанализаторе фирмы «Strohlein».

Во время продувки происходит значительное насыщение стали азотом. Прирост азота в сталь связан с общим количеством введенного в ковш газообразного азота (рисунок 1). Из рисунка 1 видно, что концентрация азота в стали значительно возрастает при введении более 20 м³ азота, что при расходе от 45 до 60 нм³/ч соответствует 20 мин продувки через донную фурму. В течение этого времени содержание азота прирастает в среднем на 0,005 % и не превышает 0,015 %.

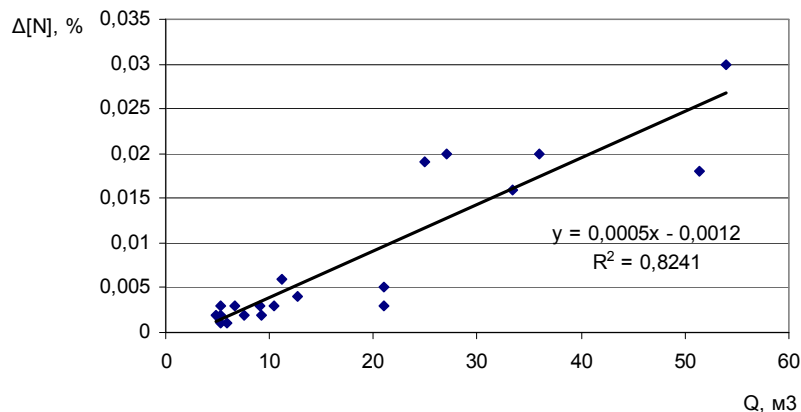


Рис. 1. Зависимость прироста содержания азота в стали и общим количеством введенного газообразного азота

При этом на плавках сравнения (продувка через верхнюю погружаемую фурму) прирост содержания азота за 5 – 15 мин продувки значительно меньше (таблица 2, рисунок 2). При среднем приросте 0,003 % содержание азота после продувки не превышало 0,012 %. В ходе исследования определено, что при введении в сталь в течение 25 – 72 мин более 0,025 % азота наблюдается «рост» слитков, поскольку значительные изменения растворимости азота в железе при фазовых превращениях $\gamma \rightarrow \delta$ и $\gamma \rightarrow \alpha$ ведут к образованию пузырей (таблица 3). В связи с этим при любых способах насыщения жидкого металла азотом предельно возможная концентрация его при условии получения плотного слитка определяется равновесием последних объемов закристаллизовавшегося металла с парциальным давлением азота в окружающей среде при температуре конца кристаллизации. Известно, что азот в стали находится в состоянии твердого раствора и в неметаллической фазе (с нитридообразующими элементами: алюминием, титаном, ванадием и др.) [6, 7].

Литературный анализ позволил установить зависимость образования тугоплавких соединений типа MeC и MeN и их влияния на механические характеристики рельсовой стали. Результаты исследований показали, что тугоплавкие наночастицы карбонитридов, карбидов и нитридов ванадия повышают прочностные характеристики металла (таблица 4), и в особенности увеличения стойкости рельсовой стали при пониженных температурах.

Таблица 1

Результаты продувки через донную фурму

Марка стали	Длительность продувки, мин	Расход, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Количество вдуваемого азота, нм^3	Температура, $^{\circ}\text{C}$	[N] _{н.} , %	[N] _{к.} , %	$\Delta[\text{N}]$, %	Химический состав шлака, % масс.					Усвоение [N] _{к.} , %
								FeO	CaO	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	MnO	SiO ₂	
Ст20	14	45	10,50	1565	0,007	0,010	0,003	3,93	46,52	2,45	4,39	18,99	25,00
Ст20	25	60	25,00	1570	0,007	0,026	0,019	5,25	47,62	2,45	1,54	19,44	66,80
5пс	28	45	21,00	1545	0,009	0,012	0,003	4,77	51,60	2,79	4,63	18,49	12,60
5пс	11	50	9,17	1545	0,007	0,009	0,002	3,06	52,20	2,41	3,62	21,66	19,19
5пс	6	48	4,80	1555	0,006	0,008	0,002	4,16	45,20	2,39	3,80	18,91	36,67
5пс	7	50	5,83	1535	0,008	0,009	0,001	3,07	51,98	2,34	3,70	22,21	13,70
40X	12	45	9,00	1550	0,007	0,010	0,003	3,67	40,26	1,61	1,70	25,00	29,30
3пс	10	45	7,50	1550	0,008	0,010	0,002	4,58	46,71	2,32	2,39	20,13	23,50
65Г	7	45	5,25	1525	0,008	0,010	0,002	1,48	54,11	2,58	1,96	20,97	33,50
3пс	7	45	5,25	1560	0,009	0,010	0,001	6,75	41,44	2,15	5,97	19,27	16,80
5пс	7	45	5,25	1550	0,007	0,010	0,003	6,64	39,95	2,10	5,86	19,02	50,30
Ст45	36	60	36,00	1550	0,006	0,026	0,020	3,03	53,69	2,76	3,70	19,45	48,89
3пс	56	55	51,33	1560	0,007	0,025	0,018	6,84	52,20	2,95	4,74	17,69	30,86
Ст50	40	50	33,34	1545	0,007	0,023	0,016	3,38	48,82	2,25	1,82	21,70	42,23
40X	36	45	27,00	1555	0,014	0,034	0,020	1,05	57,22	3,12	0,60	18,34	65,19
Ст35	72	45	54,00	1560	0,005	0,035	0,030	2,39	49,42	2,69	2,56	18,37	48,89
5пс	8	50	6,67	1580	0,009	0,012	0,003	2,72	50,90	2,56	2,97	19,88	39,60
3пс	15	45	11,25	1560	0,007	0,013	0,006	6,25	43,90	2,27	4,39	19,33	46,90
3пс	17	45	12,75	1555	0,008	0,012	0,004	5,66	43,11	2,35	5,00	18,34	27,60
3пс	28	45	21,00	1555	0,009	0,014	0,005	2,27	51,95	2,37	2,61	21,92	21,00

Таблица 2

Результаты продувки через погружаемую фурму

Марка стали	Длительность продувки, мин	Расход, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Количество вдуваемого азота, нм^3	Температура, °С	[N] _н , %	[N] _к , %	$\Delta[\text{N}]$, %	Химический состав шлака, % масс.				Усвоение [N], %	
								FeO	CaO	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	MnO		SiO ₂
5сп	10	45	7,50	1600	0,006	0,01	0,004	2,22	53,62	2,60	1,97	20,62	46,90
5сп	7	40	4,67	1600	0,008	0,011	0,003	4,41	45,25	2,29	3,47	19,76	36,50
5сп	10	40	6,67	1585	0,008	0,011	0,003	2,99	50,56	2,41	2,43	20,98	39,58
3пс	8	45	6,00	1555	0,007	0,008	0,001	2,33	35,56	2,05	3,45	17,35	14,67
3пс	7	45	5,25	1560	0,009	0,01	0,001	4,23	48,92	2,89	1,96	16,93	16,76
5пс	7	45	5,25	1545	0,009	0,01	0,001	3,67	45,87	2,58	4,00	17,78	16,76
5пс	10	45	7,50	1545	0,006	0,008	0,002	2,98	53,34	2,87	2,49	18,59	23,47
5пс	16	47	12,53	1560	0,006	0,009	0,003	1,73	52,10	2,31	1,27	22,55	21,07
5пс	12	40	8,00	1550	0,009	0,012	0,003	1,90	52,11	2,30	2,08	22,66	33,00
5пс	9	42	6,30	1540	0,007	0,009	0,002	7,43	45,83	2,56	4,61	17,90	27,94

Таблица 3

Растворимость азота в стали

Фаза	Температура, °С	Содержание азота при давлении 10^5 Па, %
жидкая	1536	0,0348
δ	1536 – 1391	0,0126 – 0,0106
γ	1391 – 910	0,0222 – 0,0310
α	910	0,0043

Таблица 4

Физико-механические свойства рельсов

	После закалки и отпуска						σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %	КСU ⁺²⁰ , Дж/см ²	КСU ⁻⁶⁰ , Дж/см ²
	НВ ₁₀	НВ ₂	НВ ₂₂	НВ ₃₀	НВ ₄₂	НВ _{ФКГ}						
С обработкой азотом	363	341	352	363	363	363	931	1 284	11	34	39	37
	341 – 388	321 – 375	321 – 375	341 – 375	341 – 388	341 – 388						
Без обработки азотом	362	346	350	361	361	367	862 – 999	1254	11	35	38,8	31,3
	341 – 388	321 – 375	331 – 388	331 – 388	341 – 375	341 – 388						
	≥ 341	≥ 321	≤ 388	≤ 388	≤ 388	341-401	≥ 800	≥ 1176	≥ 8	≥ 25	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$

Требования ГОСТ 51685-2000

Числитель – средние значения, знаменатель – минимальные и максимальные значения

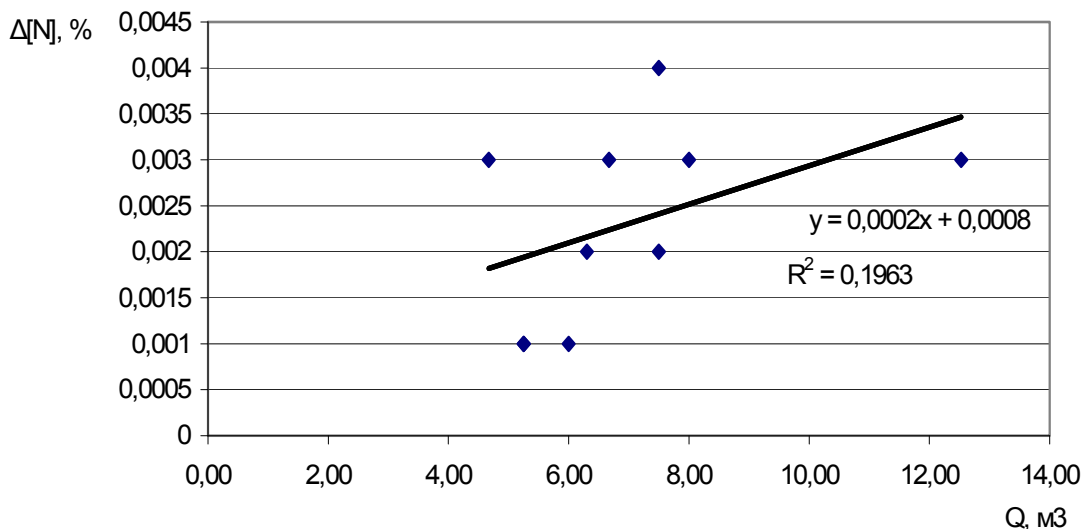


Рис. 2. Зависимость между приростом азота в стали и общим количеством введенного газообразного азота (погружаемая фурма)

Литература.

1. Свяжин А.Г. Легирование стали азотом //Черная металлургия. Бюллетень ЦНИИИ и ТЭИ ЧМ. – 1990. – Вып. 6. – с.23 – 32.
2. Свяжин А.Г., Халек М.А., Шевченко А.Д. Массообмен при продувке жидкой стали в ковше азотом //Известия вузов. Черная металлургия. – 1984. - №9. с 37 – 42.
3. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1987. – 272 с.
4. Свяжин А.Г., Шевченко А.Д. Определение времени выравнивания состава и температуры жидкой стали в ковше при продувке нейтральным газом //Известия АН СССР. Металлы. – 1986. - №1. – с. 10 – 14.
5. Обработка конвертерной стали аргоном /Колпаков С.В., Шалимов А.Г., Поживанов А.М. и др. //Сталь. – 1979. - №3. – с. 177 – 179.
6. Аверин В.В., Ревякин А.В., Федорченко В.И., Козина Л.Н. Азот в металлах. М.: Металлургия, 1976. – 224 с.
7. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. М.: Металлургия, 1968. – 281 с.
8. Valuev D. V. , Danilov V. I. , Serikbol A. - , Valueva A. V. Research into the Causes of the Cracking of Large Workpieces Low Carbon Steel by Pressure Treatment // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 1040. - p. 250-255
9. Valuev D. V. , Danilov V. I. Reasons for Negative Formation of Structures in Carbon Steel Processing of Pressure // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - Vol. 2 - p. 151-154

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СВАРКИ И СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ РАВНОГО СЕЧЕНИЯ

В.Г. Добровольский, аспирант, И.В. Смирнов, к.т.н., доц.,

Тольяттинский государственный университет

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (8482)-53-92-45

E-mail: aquaweld@yandex.ru

Повышение энергоэффективности промышленных предприятий, снижение потребления ими электроэнергии является приоритетной задачей в развитии науки и техники.

В существующей практике сварочного производства применяются способы дуговой сварки основанные, преимущественно, на передаче тепла от сварочной дуги к свариваемому изделию через слой жидкого металла сварочной ванны. При этом жидкий металл сварочной ванны, располагающийся под сварочной дугой выступает в качестве теплового демпфера, в котором непроизводительно теряется часть тепловой энергии сварочной дуги. Непроизводительность потерь обусловлена тем, что

часть тепла, проходящая через сварочную ванну тратиться на её перегрев, в то время как для образования сварного соединения достаточно довести металл до температуры плавления (а в некоторых случаях дуговой сварки до температуры активного развития процессов диффузии).

В настоящее время в РФ разработаны новые способы дуговой сварки, основанные на применении нового принципа пространственно-параметрического управления тепловложением (патент на изобретение № 2401726 от 21.07.2008 г.). Использование этого принципа на практике позволяет гибко, и в широких диапазонах регулировать и оптимизировать параметры процесса ввода тепла сварочной дуги в свариваемое изделие.

Сущность данного способа заключается в изменении параметров собственного магнитного поля дуги, а именно на использовании эффекта «магнитного дутья». Данный эффект основан на том, что при нарушении симметричности собственного магнитного поля сварочной дуги, в нём возникает область в которой плотность линий магнитной индукции увеличивается, и область в которой плотность линий магнитной индукции уменьшается. В результате дуга отклоняется от своей оси в сторону области магнитного поля, в которой плотность линий магнитной индукции уменьшается (рисунок 1).

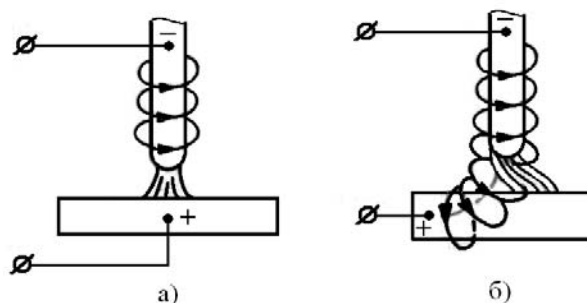


Рис. 1. Действие собственного магнитного поля на дугу
а) при отсутствии искривления магнитного поля; б) при наличии искривления

Применение принципа управления пространственным положением сварочной дуги на поверхности свариваемых кромок за счёт изменения параметров её собственного магнитного поля, позволяет программируемо отклонять сварочную дугу от оси электрода, при неподвижном катодном пятне. Этот способ пространственного управления положением дуги позволяет обеспечивать введение большей части тепла сварочной дуги не через жидкий металл сварочной ванны, а непосредственно в свариваемые кромки. При этом значительно повышается эффективность передачи тепла от сварочной дуги к изделию.

Одновременно с применением принципа пространственного управления тепловложением, в предлагаемом новом подходе применяется принцип параметрического управления тепловложением. Совместное использование этих двух принципов позволяет, во-первых, более эффективно передавать тепло сварочной дуги свариваемому материалу, а во-вторых, обеспечивать поддержание требуемой для образования сварного соединения температуры сварочной ванны.

Применение описанного выше принципа пространственно-параметрического управления тепловложением позволяет в зависимости от условий сварки и типа свариваемой конструкции подобрать параметры процесса, при которых могут быть достигнуты оптимальные условия передачи тепла дуги свариваемому металлу, т.е. достигнута оптимальная энергоэффективность сварочного процесса.

С практической точки зрения улучшение условий передачи тепла от дуги к изделию может быть выражено в возможности повышения производительности сварки, или снижении сварочного тока, при получении сварных швов с одинаковыми геометрическими размерами (шириной провара). Достижение такого результата становится возможным благодаря симметричному изменению размеров провара сварного шва по ширине и глубине. Если при обеспечении более эффективного ввода тепла дуги в изделие размеры шва симметрично растут, по сравнению с аналогичными размерами получаемыми при традиционном способе сварки, то для обеспечения размеров шва как при традиционном способе мы имеем возможность либо повысить скорость сварки, либо снизить мощность сварочной дуги. В этом случае проявляется прямой эффект энергоэффективности – снижаются затраты энергии идущие на формирование сварного шва с одинаковыми размерами, т.е. при обеспечении постоянства площади поперечного сечения сварного шва и его формы.

Для количественной оценки достигаемых практических результатов экспериментальным путём определяли возможное увеличение скорости сварки, одинаковых по типоразмерам образцов изделий, на одинаковых режимах по мощности дуги, с применением аргонодуговой сварки с управляемым тепловложением.

В проводимом исследовании будут подвергаться оценке сравнительной эффективности две технологических сварочных системы:

- 1) Традиционная автоматическая аргонодуговая сварка корневого слоя шва стыкового соединения элементов с разделкой кромок;
- 2) Автоматическая аргонодуговая сварка с пространственно-параметрическим управлением тепловложением корневого слоя шва стыкового соединения элементов с разделкой кромок.

Задачи эксперимента по изменению скорости сварки при постоянной мощности сварочной дуги (1 эксперимент):

1. Традиционным способом аргонодуговой сварки сварить образцы на базовых режимах с получением качественного провара корневого слоя шва.
2. На каждом из исследуемых режимов сварки с управляемым тепловложением сварить образцы плавно увеличивая скорость сварки до того момента, пока не будет обеспечена площадь сечения сварного шва, и размеры его провара, с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргонодуговой сварки (т.е. при частоте коммутации 0 Гц).
3. Для каждой исследуемой толщины и режима сварки определить величину изменения скорости сварки, выраженную в %, по отношению к скорости при традиционном способе сварки (т.е. частоте коммутации тока 0 Гц).

Задачи эксперимента по изменению силы сварочного тока при постоянной скорости сварки (2 эксперимент):

1. Традиционным способом аргонодуговой сварки сварить образцы на базовых режимах с получением качественного провара корневого слоя шва.
2. На каждом из исследуемых режимов сварки с управляемым тепловложением сварить образцы плавно уменьшая силу сварочного тока до того момента, пока не будет обеспечена площадь сечения сварного шва, и размеры его провара, с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргонодуговой сварки (т.е. при частоте коммутации 0 Гц).
3. Для каждой исследуемой толщины и режима сварки определить величину изменения силы сварочного тока, выраженную в %, по отношению к силе сварочного тока при традиционном способе сварки (т.е. частоте коммутации тока 0 Гц).

Краткое описание объекта исследований и условий проведения опытов

Каждый из экспериментов проводится в виде двух отдельных серий опытов.

В первой серии опытов традиционным способом аргонодуговой сварки свариваются образцы на различных режимах (по току и скорости сварки) с частотой коммутации тока равной 0 Гц.

Вторая серия опытов в **1 эксперименте** заключается в том, что на каждом из исследуемых режимов сварки с управляемым тепловложением плавно увеличивают скорость сварки до того момента, пока не будет обеспечена площадь сечения сварного шва, и размеры его провара, с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргонодуговой сварки (т.е. при частоте коммутации 0 Гц). Сила сварочного тока при этом остаётся неизменной.

Вторая серия опытов во **2 эксперименте** заключается в том, что на каждом из исследуемых режимов сварки с управляемым тепловложением плавно уменьшали силу сварочного тока до того момента, пока не будет обеспечена площадь сечения сварного шва, и размеры его провара, с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргонодуговой сварки (т.е. при частоте коммутации 0 Гц). Скорость сварки при этом остаётся неизменной.

Экспериментальные исследования проводятся применительно к сварке конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Для выявления закономерностей характерных разным группам толщин металла, эксперименты выполнялись для толщин 4 мм (как для представителя из группы малых толщин), толщины 8 мм (как для представителя из группы средних толщин) и толщины 12 мм (как для представителя из группы больших толщин).

Первоначально в качестве оценочной характеристики схожести размеров принималась ширина шва с лицевой и обратной стороны шва. При достижении схожести размеров с традиционным способом сварки, из экспериментального образца вырезали макрошлиф и более точно оценивали по нему схожесть размеров и площади провара двух швов.

План проведения экспериментов

Толщина металла выступала в качестве исследуемого фактора условий проведения сварочного процесса. В качестве исследуемых факторов параметров режима сварки выступили такие параметры как сила сварочного тока и частота коммутации тока между каналами токоподвода. Величина сварочного тока варьировалась дискретно от минимальной до максимальной, для соответствующей толщины металла. Частоту коммутации тока между каналами токоподвода в рамках каждого эксперимента от опыта к опыту варьировали дискретно из ряда 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 7,0 и 10 Гц.

Каждый эксперимент состоит из 21 опыта для каждой из трёх толщин металла (всего 63 опыта). Для каждой толщины подбирается свой базовый режим сварки при частоте коммутации тока между каналами 0 Гц. При традиционном способе сварки частота коммутации тока равна 0 Гц. Электрод располагают по центру стыка.

Для проведения экспериментов первоначально для каждого сочетаний толщины пластины и исследуемого тока сварки подбирали силу сварочного тока и величину скорости сварки традиционным способом, при которой наблюдается полное и стабильное проплавление корневого слоя шва пластин.

Результаты экспериментальных исследований

Автоматическая аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом без подачи присадочной проволоки.

Результаты определения скорости сварки и силы сварочного тока, при которых достигается получение сварного шва с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргонодуговой сварки, наглядно представлено на рисунке 3 (для силы сварочного тока) и рисунке 4 (для скорости сварки).

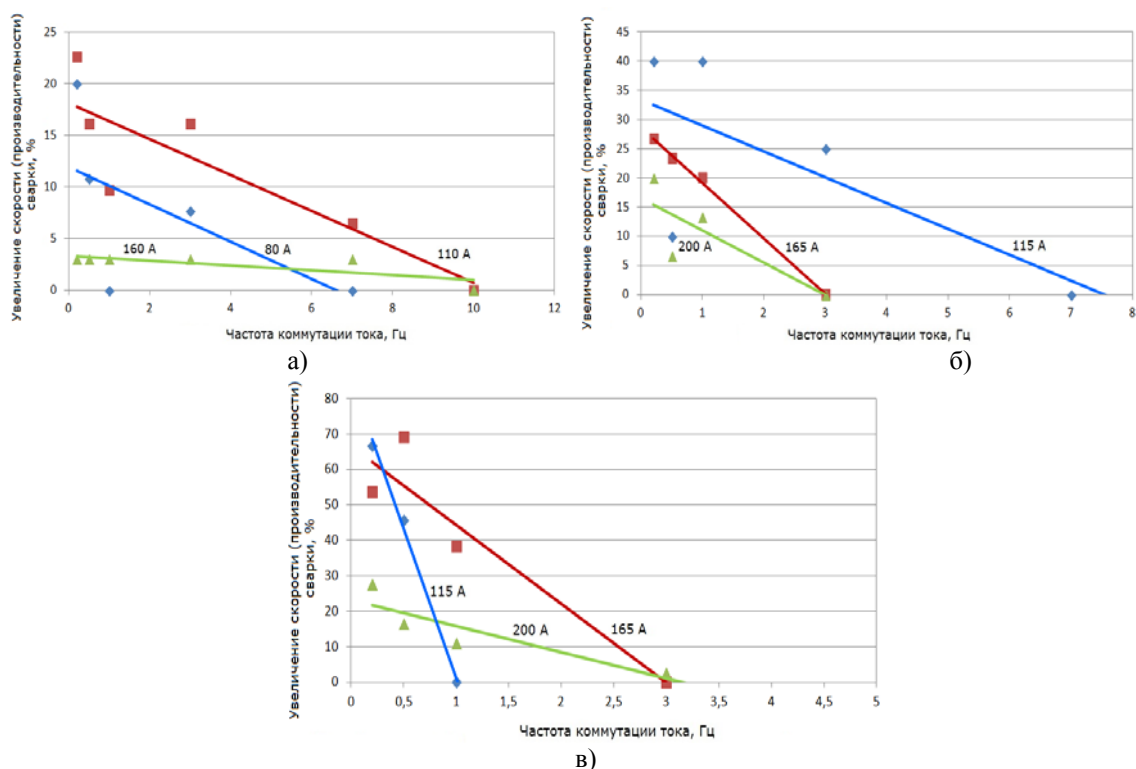


Рис. 3. Графики потенциального увеличения скорости сварки (при постоянной площади сечения шва) в зависимости от частоты коммутации тока между каналами токоподвода: а – для толщины 4 мм; б – для толщины 8 мм; в – для толщины 12 мм (режимы сварки по таблице 54). Аргонодуговая сварка без присадки.

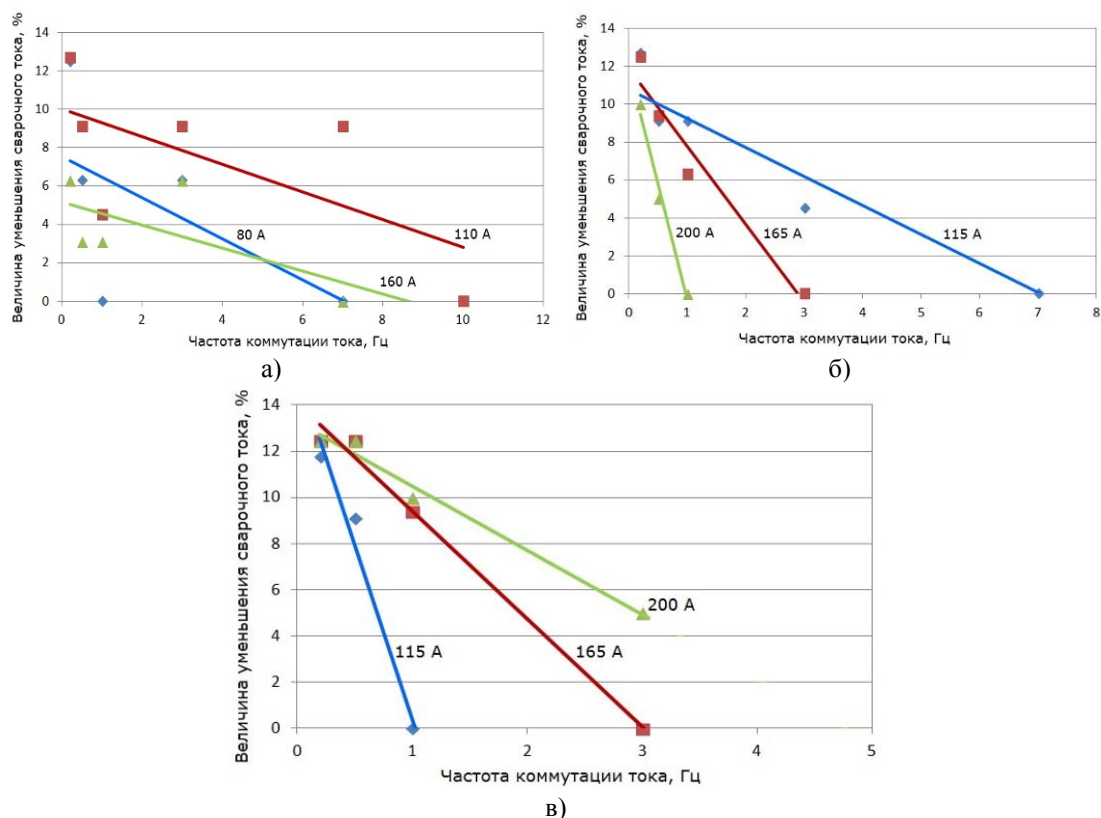


Рис. 4. Графики потенциального уменьшения силы сварочного тока (при постоянной площади сечения шва) в зависимости от частоты коммутации тока между каналами токоподвода: а – для толщины 4 мм; б – для толщины 8 мм; в – для толщины 12 мм (режимы сварки по таблице 54). Аргондугловая сварка без присадки

Анализ

Наибольшие возможности по увеличению скорости сварки обеспечиваются при сварке на небольших частотах коммутации сварочного тока в пределах от 0,2 до 2 Гц. В дальнейшем наблюдается плавное понижение величины потенциально возможного увеличения скорости сварки.

Относительно величины сварочного тока указанные для скорости сварки закономерности полностью сохраняются. Максимальное снижение силы сварочного тока также обеспечивается на небольших частотах коммутации сварочного тока.

Для скорости сварки и силы сварочного тока, достаточно сложно указать общие закономерности, характерные для всего диапазона исследованных режимов и условий сварки. Однако в пределах каждой группы толщин можно выделить чёткие закономерности и сформулировать рекомендации по достижению наибольших параметров энергоэффективности.

Результаты экспериментальных исследований

Автоматическая аргондугловая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки.

Результаты определения скорости сварки и силы сварочного тока, при которых достигается получение сварного шва с минимальными отклонениями от площади сечения и ширины провара, характерными для шва, полученного на традиционном режиме аргондугловой сварки наглядно представлены на рисунке 5 (для скорости сварки) и рисунке 6 (для силы сварочного тока).

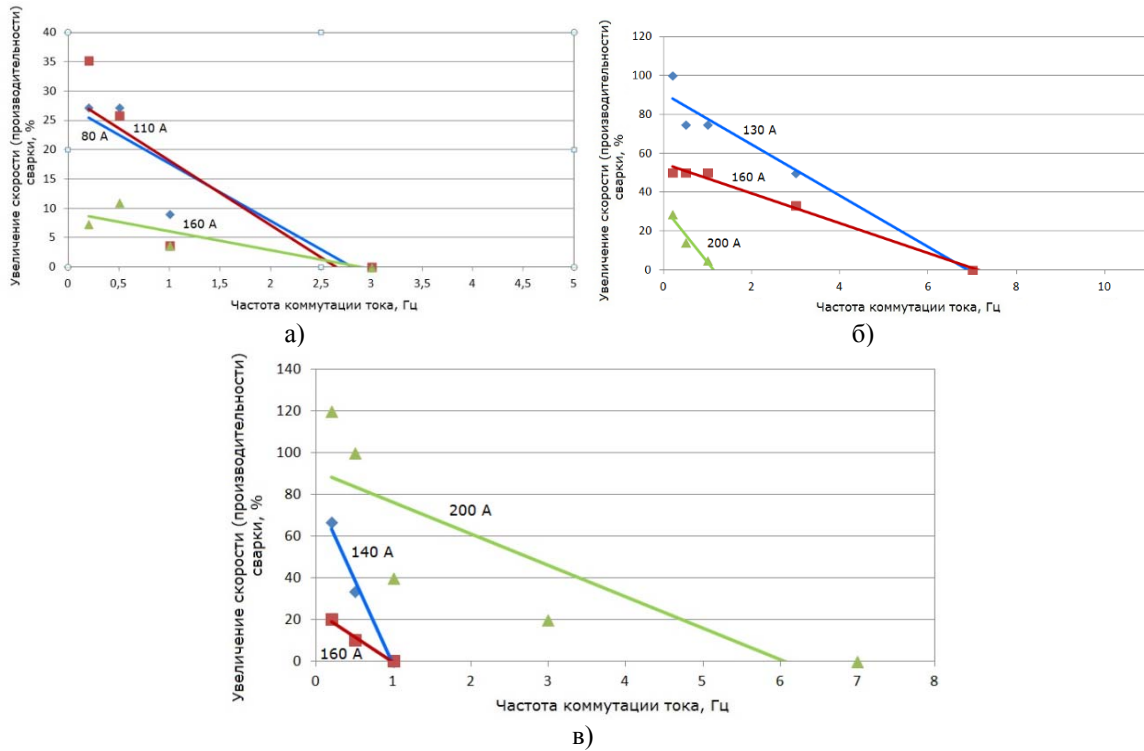


Рис. 5. Графики потенциального увеличения скорости сварки (при постоянной площади сечения шва) в зависимости от частоты коммутации тока между каналами токоподвода: а – для толщины 4 мм; б – для толщины 8 мм; в – для толщины 12 мм (режимы сварки по таблице 55). Аргонодуговая сварка с присадкой

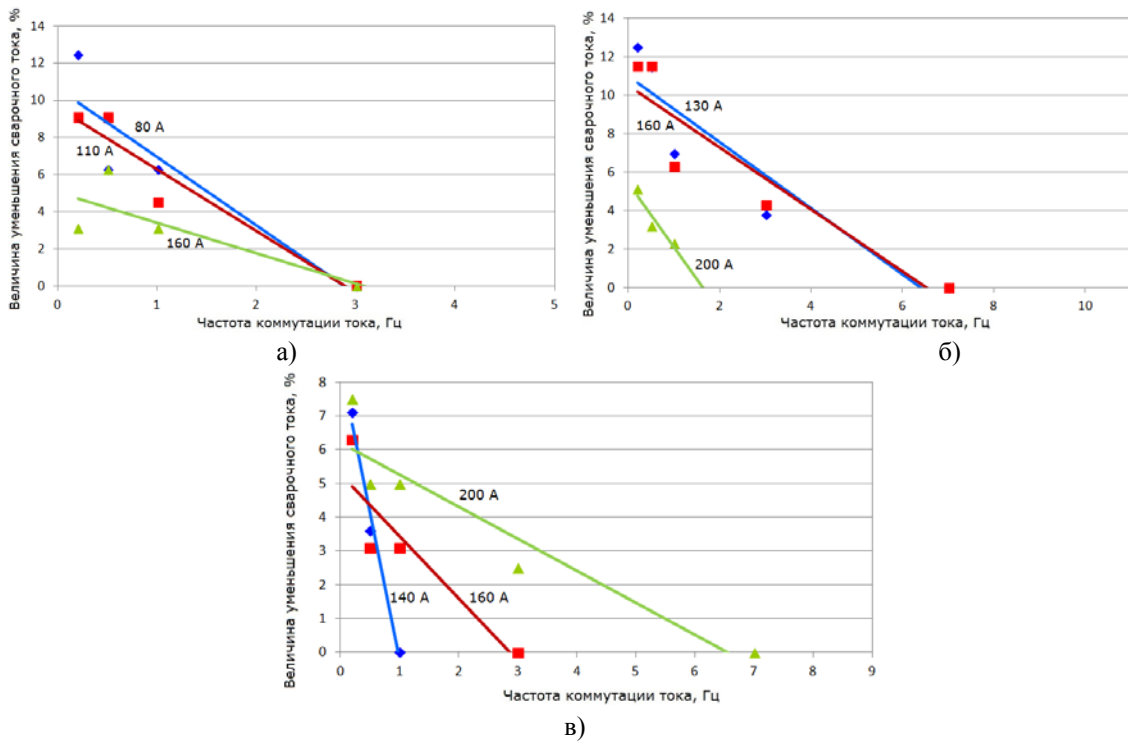


Рис. 6. Графики потенциального уменьшения силы сварочного тока (при постоянной площади сечения шва) в зависимости от частоты коммутации тока между каналами токоподвода: а – для толщины 4 мм; б – для толщины 8 мм; в – для толщины 12 мм (режимы сварки по таблице 56). Аргонодуговая сварка с присадкой.

Анализ

Основной закономерностью, прослеживаемой во всех опытах эксперимента, является зависимость возможного повышения производительности или снижения мощности дуги от частоты коммутации тока между каналами.

Наибольшие возможности по увеличению скорости сварки обеспечиваются при сварке на небольших частотах коммутации сварочного тока в пределах от 0,2 до 1 Гц. В дальнейшем наблюдается понижение величины потенциально возможного увеличения скорости сварки.

Выводы:

Максимально достижимый уровень повышения производительности процесса сварки увеличивается с ростом толщины свариваемого металла:

– для малых толщин максимальный уровень повышения производительности процесса составляет 22,6%; для средних толщин этот показатель уже составляет максимум 40%, а при сварке больших толщин возрастает до 68%.

Максимально достижимая величина возможного снижения силы сварочного тока дуги для всех условий сварки остаётся практически на одном уровне. Так для малых толщин максимальный уровень снижения тока сварочной дуги составляет 9,1%, а для средних и больших толщин этот показатель составляет максимум 12,5%.

Как видно из анализа достижение наибольшей энергоэффективности позволит добиться повышение скорости сварки (производительности процесса). Значительно более широкий диапазон повышения скорости сварки, по отношению к диапазону изменения силы сварочного тока может быть объяснён на основании полученных ранее экспериментальных данных. При увеличении скорости сварки происходит постепенное смещение пятна нагрева сварочной дуги с поверхности сварочной ванны на основной металл. При этом эффективность ввода тепловой энергии в металл кромок дополнительно повышается, обеспечивая ещё более широкий диапазон возможного увеличения скорости сварки для получения шва равного сечения. Таким образом, проявляется синергетический эффект, когда применение принципа пространственно-параметрического управления тепловложением (в периодических поперечных колебаний дуги с циклическим формированием сварного шва) позволяет вводить тепло в кромок более эффективно и за счёт этого повысить скорость сварки, а это в свою очередь также вызывает дополнительное улучшение условий ввода тепла от дуги в изделие и приводит к ещё большему увеличению скорости сварки.

Уменьшение же силы сварочного тока не приводит к дополнительному улучшению условий ввода тепла от дуги в изделие. Поэтому диапазон потенциально возможного уменьшения силы сварочного тока для получения шва равного сечения значительно уже, чем для скорости сварки.

Литература.

1. Смирнов И.В., Сидоров В.П., Захаренко А.И., Добровольский В.Г., Гилязов Э.С. Исследование процесса управления пространственным положением дуги за счет изменения параметров ее собственного магнитного поля // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*, 2011 - №10 – с. 64 -71.
2. Смирнов И.В., Захаренко А.И. Управление тепловложением в свариваемые кромок при дуговой сварке неплавящимся электродом // *Сварочное производство*. 2009. №12. С. 32-36.
3. Смирнов И.В., Сидоров В.П., Захаренко А.И. Специфические аспекты описания процесса автоматической аргонодуговой сварки дугой, отклоняемой собственным магнитным полем // *Сварочное производство*. 2010. №1. С. 3-6.
4. Патент на изобретение №2401726 Российская Федерация МПК В23К9/08. Способ сварки в защитном газе неплавящимся электродом магнитоуправляемой дугой / Смирнов И.В., Сидоров В.П., Захаренко А.И. // *Бюл. №29*. опубл. 20.10.2010.
5. Сидоров В.П., Смирнов И.В., Смирнова А.И., Архипкин Д.И. Расчётная оценка энергоэффективности процесса дуговой сварки с управляемым тепловложением // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*, 2012 - №7 – с. 170-174.
6. Сидоров В.П., Смирнов И.В., Смирнова А.И., Добровольский В.Г., Архипкин Д.И. Экспериментальные исследования энергоэффективности процесса аргонодуговой сварки с управляемым тепловложением // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*, 2012 - №8 – с. 131-136.
7. Смирнов И.В., Сидоров В.П., Хурин С.А., Смирнова А.И., Добровольский В.Г., Гилязов Э.С. Сравнение показателей энергоэффективности традиционного инверторного источника питания для дуговой сварки и инверторного источника питания для сварки с управляемым тепловложением // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*, 2012 - №8 – с. 138-141.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНОДИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Н.Ф. Коленчин, к.т.н., первый проректор, В.Н. Кусков, д.т.н., проф., П.Н. Шадрин, мл. научн. сотр.

Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (факс) (3452)-201931

E-mail: vnkuskov@yandex.ru

Введение

Изделия из сплавов алюминия широко используют в различных отраслях промышленности: авиастроении, строительстве, машиностроении, электротехнике, микроэлектронике и т.д. Это обусловлено не только характеристиками самого алюминия, но и возможностью создания на его поверхности оксидной пленки с различными функциональными характеристиками. Наиболее отработанным и широко распространенным в промышленности является анодирование в водных растворах кислот и щелочей [1]. Рост оксида осуществляется в результате окисления поверхностного слоя сплава при прохождении постоянного электрического тока.

В нефтегазовом машиностроении также начинают применять анодированные алюминиевые сплавы [2, 3]. Этому благоприятствует тот факт, что они обладают высокими коррозионной стойкостью и чистотой поверхности, на них отсутствуют искрообразование и парафиноотложение, а их износостойкость можно повысить до уровня (или выше) стальных материалов, используемых в настоящее время.

Материалы и методики исследования

Использовали образцы сплава Д16 размерами 30x30x2 мм при температуре $(0 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$ и содержании озона в воздушной смеси 3 мг/л, концентрация серной кислоты - от 1 до 10 мас. %. Анодирование образцов выполнили по режиму падающей мощности при начальном напряжении 75 В в течение 60 мин. С целью повышения качества оксидного покрытия в традиционной установке для анодирования алюминия и его сплавов применили аккумуляторную батарею, что позволило сохранять постоянным напряжение и устранить пульсацию тока анодирования [4] (рис. 1). Благодаря стабилизации и повышению средней плотности тока анодирования возрастает доля кристаллической составляющей в оксидном покрытии и увеличивается его микротвердость HV. Например, HV алюминия А5 после анодирования повышается до 8,25 ГПа, а сплава Д16 - до 7,92 ГПа по сравнению с 7,64 и 7,50 ГПа соответственно.

Использовали четыре различные технологии воздействия на электролит:

Использовали четыре различные технологии воздействия на электролит:

№ 1 – барботаж (продувка) электролита воздухом;

№ 2 - барботаж электролита озono-воздушной смесью;

№ 3 - барботаж электролита озono-воздушной смесью с одновременным ультразвуковым воздействием частотой $2,2 \cdot 10^6$ Гц;

№ 4 - барботаж электролита озono-воздушной смесью с одновременным ультразвуковым воздействием частотой $2,2 \cdot 10^6$ Гц и вибраци-

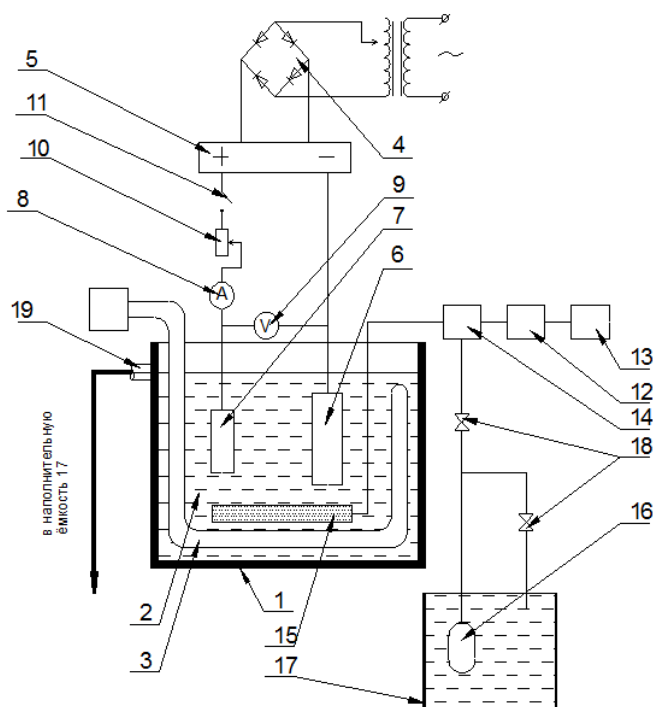


Рис. 1. Схема установки для анодирования со стабилизацией напряжения:

1 - ванна анодирования, 2 - электролит, 3 - холодильный агрегат, 4 - выпрямительное устройство, 5 - аккумуляторная батарея, 6 - вспомогательный электрод, 7 - анодируемая деталь, 8 - амперметр, 9 - вольтметр, 10 - реостат, 11 - ключ, 12 - генератор озона, 13 - компрессор, 14 - ресивер, 15 - барботер, 16 - насос, 17 - наполнительная емкость, 18 - регулировочные краны, 19 - патрубков

ей в горизонтальной и вертикальной плоскостях с частотой от 100 до 300 Гц, используя установку, схема которой приведена на рис. 2.

Микротвердость HV оксидных покрытий измеряли на поперечных шлифах с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,49 Н (в работе указано среднее значение 5 – 7 измерений), толщину – металлографически на микроскопе МИМ-7 и толщиномером «Константа К-7». Износостойкость определяли по уменьшению толщины покрытия при скольжении со смазкой контр-тела из стали ШХ9 со скоростью 0,5 м/с и нагрузке 49 Н. Рентгеноструктурные исследования выполнили на дифрактометре ДРОН-3 в $\text{CoK}\alpha$ -излучении.

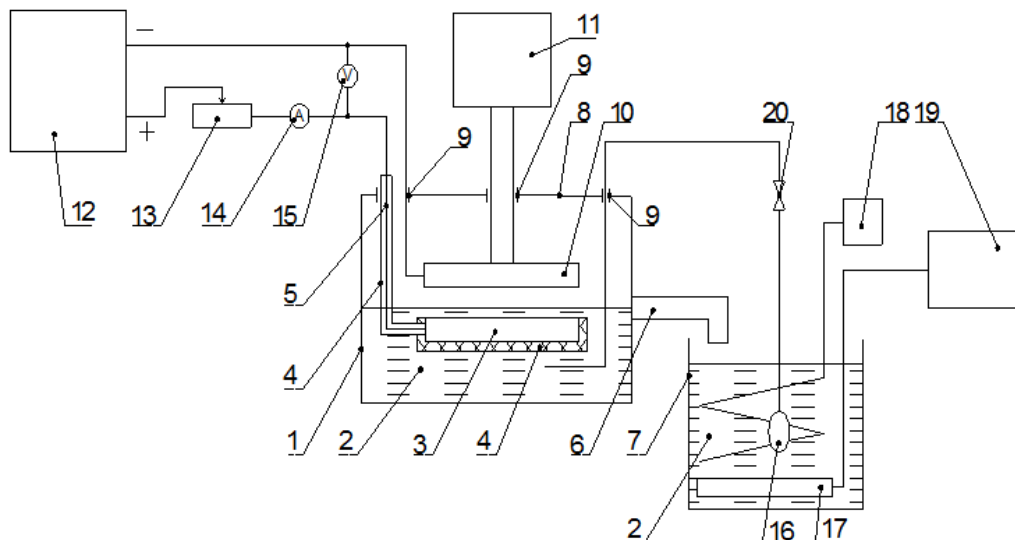


Рис. 2. Схема установки для анодирования с генератором колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях: 1 - ванна анодирования, 2 - электродит, 3 - анодируемая деталь, 4 - изоляционный материал, 5 – токоподвод, 6 – патрубок, 7 - наполнительная емкость, 8 – экран, 9 – функциональные отверстия в экране, 10 – вспомогательный электрод, 11 – генератор колебаний, 12 - источник постоянного напряжения или тока, 13- реостат, 14 - амперметр, 15 - вольтметр, 16 - насос, 17 – барботер, 18 - холодильный агрегат, 19 - генератор озона, 20 - регулировочный кран

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3 приведена толщина оксидных покрытий, полученных в 5 %-ной серной кислоте по указанным выше технологиям.

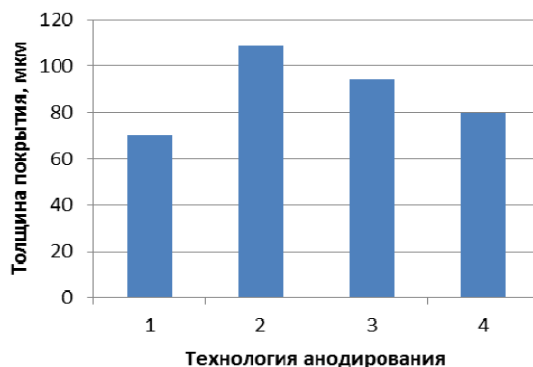


Рис. 3. Толщина оксидных покрытий на сплаве Д16, полученных в течение 60 мин в 5 %-ной серной кислоте по указанным выше технологиям

Установлено, что введение озона в смесь с воздухом увеличивает конечную толщину оксида алюминия на 45 - 53 %. Применение ультразвукового воздействия на электролит снижает интенсивность формирования оксидного покрытия, и конечная толщина покрытия за 60 мин анодирования

оказывается меньше на 10 – 13 %. По-видимому, покрытие уплотняется под действием ультразвукового воздействия или происходит кавитационный износ его внешней поверхности.

Результаты определения величин микротвердости и износа оксидных покрытий, полученных при анодировании с начальным напряжением 75 В по различным технологиям приведены на рис. 4 и 5.

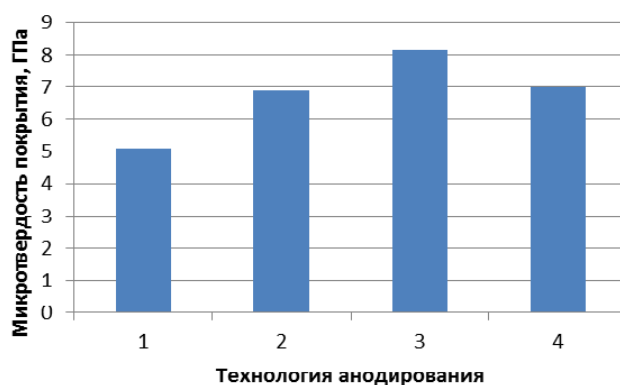


Рис. 4. Величина микротвердости анодных покрытий на сплаве Д16, полученных по указанным выше технологиям

Использование при анодировании продувки электролита озоно-воздушной смесью позволяет повысить микротвердость покрытия с 5,10 ГПа (по технологии № 1) до 6,90 ГПа (по технологии № 2), т.е. дает прирост 35 %. Дополнительное воздействие ультразвука (по технологии № 3) обеспечивает еще 18 %-ное повышение микротвердости (до 8,15 ГПа).

Повышение микротвердости покрытия с обогащением озоном газовой смеси и ультразвуковым воздействием обусловлено увеличением кристаллической составляющей (γ - Al_2O_3) в покрытии до 79 %. При этом доля аморфной составляющей в покрытии уменьшилась, о чем свидетельствует сокращение на рентгенограмме гало в интервале углов $2\theta = 20 - 40^\circ$. Это значительно увеличивает износостойкость анодных покрытий: в 1,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии № 2, и в 3,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии № 1. Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности использования ультразвука в сочетании с барботажем электролита озоно-воздушной смесью при анодировании алюминия и его сплавов. При этом содержание серной кислоты в электролите можно снизить с 20 % (наиболее часто применяемая на практике концентрация H_2SO_4) до 2,5 – 5,0 %.

Применение вибрации уменьшает толщину, микротвердость и износостойкость оксидного покрытия по сравнению с технологией № 3. Предположительно, происходит «расфокусировка» ультразвуковой волны, снижающая энергетическое воздействие кавитационных пузырьков на поверхность растущего оксида. Это может быть обусловлено изменением толщины и строения двойного электрического слоя на границе твердого тела с электролитом.

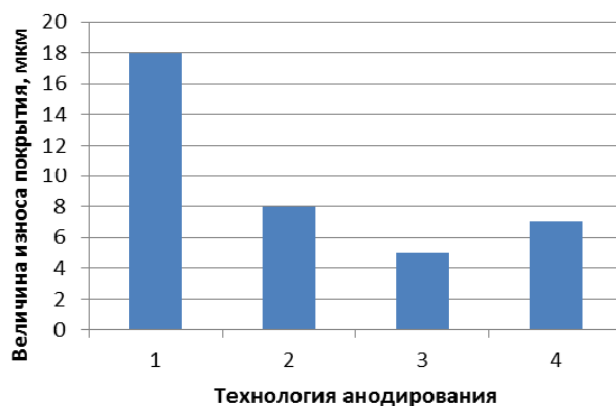


Рис. 5. Величина износа анодных покрытий на сплаве Д16, полученных по указанным выше технологиям

Технологию анодирования с применением озono-воздушной смеси опробовали на реальных изделиях. Испытания на нефтяных промыслах анодированных деталей из сплава Д16 (обойм подшипников скольжения, защитных рубашек и межсекционных уплотнений насосов системы поддержания пластового давления) показали хорошие результаты: длительность эксплуатации в агрессивных средах при отсутствии ударных нагрузок выросла практически в два раза по сравнению с серийно изготовленными. Толщина оксидного покрытия на корпусе шестеренчатого насоса из сплава АЛ9 составила 30 - 40 мкм. После эксплуатационных испытаний в течение 2200 ч (3 месяца круглосуточно) величина износа составила 20 - 26 мкм, в то время как у серийных корпусов – 148 – 163 мкм после 1248 - 1560 ч работы.

Выводы

1. Установлено, что введение озона в воздушную смесь для барботажа электролита при анодировании алюминиевого сплава Д16 в 5 %-ном водном растворе серной кислоты увеличивает конечную толщину оксидного покрытия на 45 - 53 %, а одновременные ультразвуковое воздействие и продувка электролита озono-воздушной смесью – только на 30 – 35 %, однако в последнем случае микротвердость покрытия повышается до 8,15 ГПа. Дополнительное применение вибрации уменьшает толщину и микротвердость оксидного слоя.

2. Повышение микротвердости покрытия на алюминии и его сплавах с обогащением озонem газовой смеси обусловлено уменьшением доли аморфной составляющей и увеличением кристаллической составляющей ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) в покрытии до 79 %. Износостойкость анодных покрытий на сплаве Д16, полученных по технологии № 3, увеличилась в 1,6 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии № 2, и в 3,6 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии № 1. Результаты свидетельствуют о перспективности использования ультразвука в сочетании с продувкой электролита озono-воздушной смесью при анодировании алюминия и его сплавов.

4. Эксплуатационные испытания анодированных деталей нефтегазового оборудования из сплава Д16 показали увеличение длительности их функционирования в два раза, а из сплава АЛ9 – более чем в пять раз по сравнению с серийными.

Литература.

1. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. –М.: Машиностроение, 1991. 380 с.
2. Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н. Увеличение срока эксплуатации нефтепромыслового оборудования за счет замены материала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1 (2). С. 456 – 458.
3. Федоров В.А., Кан А.Г., Максудов Р.А. Поверхностное упрочнение нефтегазопромыслового оборудования методом микродугового оксидирования.- М.: ВНИИОЭНГ, 1989. 48 с.
4. Патент РФ на полезную модель № 114056, С25D 11/04. Установка для анодирования алюминия и его сплавов /Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Сафронов А.В., Шадрин П.Н. //Бюл. № 7 от 10.03.2012; заявл. 19.09.2011, № 2011138397.
5. Патент на полезную модель № 116500, С25D 11/02. Установка для анодирования алюминия и его сплавов /Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Сафронов А.В. // Бюл. № 15 от 27.05.2012; заявл. 10.01.2012, № 2012100106.

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ИЗ УТИЛИЗИРОВАННЫХ МЕДНЫХ ОТХОДОВ

*О.В. Баяндина, старший преподаватель, С.Л. Бусыгин, старший преподаватель
ФГАОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет Политехнический институт
660074 г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 корп. Г, оф. 2-62, тел.8(3912)-912-562
E-mail: politex_1999@bk.ru*

Установка плавильная УП 1 предназначена для плавки цветных металлов в графитовом тигле, в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях.

Условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от +10 до +30 °С;
- верхнее значение влажности 70% при температуре +20 °С;
- окружающая среда – невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов, паров и токопроводящей пыли;
- хранение установки должно производиться в сухом проветриваемом помещении при температуре от –10 до +45 °С.

Технические характеристики

Рабочий объем тигля (1 – литр) – 1000 см³.

Время нагрева пустого тигля до температуры 1300 °С - 40 минут.

Рабочая частота (44 ± 4) КГц.

Охлаждение индуктора жидкостное, принудительное с температурой на входе не более 35 °С, расход порядка 10 л/мин при входном давлении 0,5...1,5 атм.

Масса не более 80 кг.

Напряжение питания 380/220 В, 50 Гц.

Потребляемая мощность не более 6 кВт.

Уровень напряженности электромагнитного поля на рассеянии 0,5м от индуктора и соединительных кабелей не превышает:

- по электрической составляющей 20 В/м;

- по магнитной составляющей 2 А/м.

Коэффициент полезного действия (КПД) не менее 0,8.

Устройство и принцип работы установки

Установка состоит из: источника питания с сетевым кабелем; блока согласования с соединительными кабелями и шлангами охлаждения; узла разливочного [1,2]. Установка показана на рис. 1.

Источник питания выполнен в прямоугольном металлическом корпусе, на передней панели которого расположены органы управления, контроля и выходной разъем (рис. 2). На тыльной стороне находятся входной сетевой разъем и болт заземления (Мб).

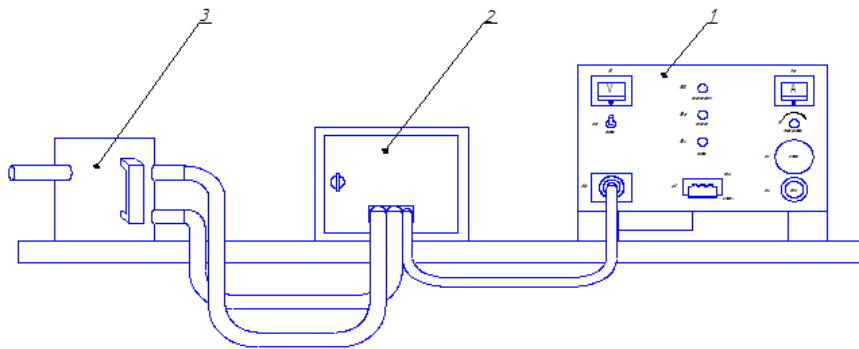


Рис. 1. Установка плавильная

1 – источник питания; 2 – блок согласования; 3 – разливочный узел

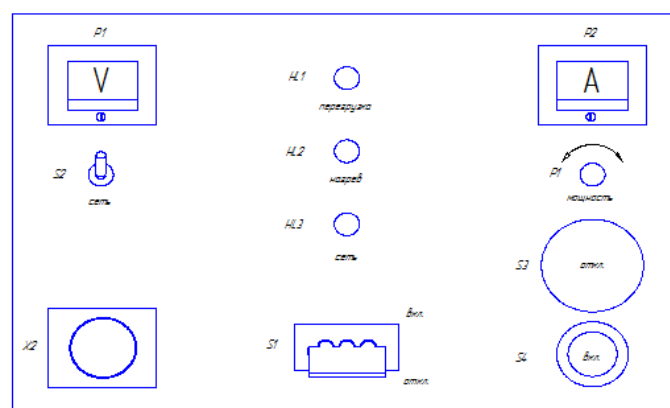


Рис. 2. Внешний вид передней панели управления источника питания

P1 – вольтметр постоянного напряжения, показывающий уровень выходного напряжения (250 – 270 В); P2 – амперметр переменного тока, отображающий величину тока нагрузки (0 – 30 А); S1 – выключатель автоматический трехфазный на 25 А; S2 – тумблер МТ – 3 включения источника питания; S3 – красная кнопка отключения нагрева; S4 – черная кнопка включения нагрева; P1 – ручка регулятора мощности; HL1 – красный светодиодный индикатор неисправности установки; HL2 – желтый светодиодный индикатор включения нагрева; HL3 – зеленый светодиодный индикатор включения сети (S2); X2 – выходной разъем типа 2РМДТ33Б9Г7В1.

Функциональная схема источника питания приведена на рис. 3.

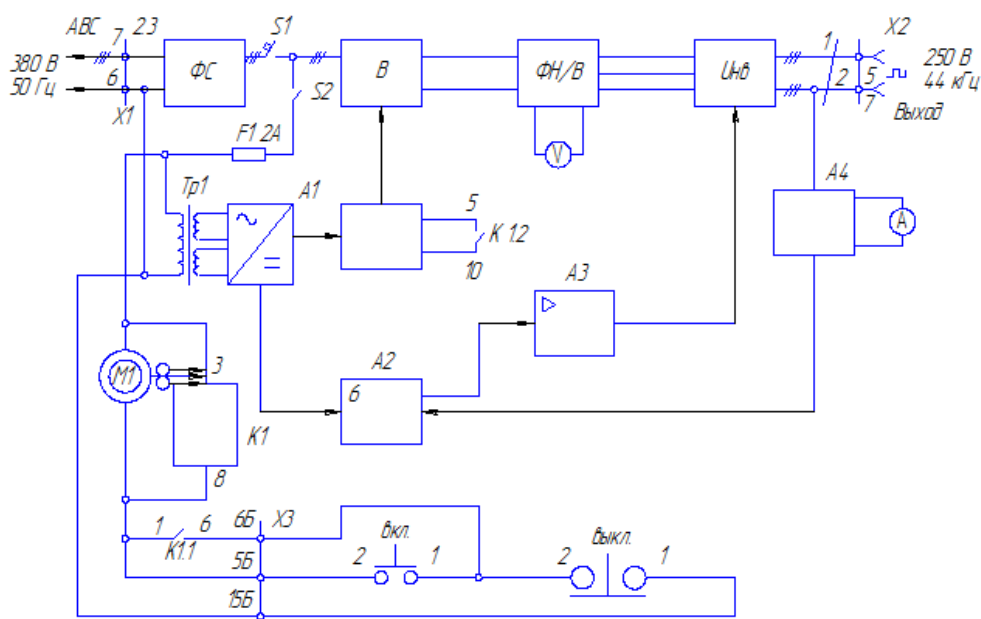


Рис. 3. Функциональная схема источника питания

ФС – фильтр сетевой; S1 – выключатель автоматический; В – управляемый тиристорный выпрямитель (MT0T01-80-12-3); ФН/В – фильтр низко и высокочастотный; $U_{\text{ИВ}}$ – силовые ключи инвертора (SKM100GB125DN); М1 – вентилятор; Тр1 – трансформатор понижающий (ТАН13, 220 В, 50 Гц, 50 Вт); А1 – AC/DC источник питания ± 15 В, 1 А и ± 12 В, 0,5 А; А2 – плата генератора и защиты (микросхемы К561); А3 – плата управления инвертором (SKHI23/12); А4 – плата датчика тока нагрузки; А5 – плата управления выпрямителем; К1 – реле типа МКУ 48 – 220 В, 50 Гц.

Источник питания преобразует сетевое трехфазное напряжение 380/220 В, 50 Гц в прямоугольное напряжение 250 В, 44 кГц. Источник состоит из сетевого выпрямителя (В) выполненного по схеме Ларионова (± 540 В) полумостового транзисторного инвертора ($U_{\text{ИВ}}$) со схемой управления и со схемой управления и контроля. Нагрузкой для источника прямоугольного напряжения служит последовательный резонансный контур с добротностью не более 5.

Блок согласования размещен в прямоугольном металлическом корпусе. В отверстия на передней стороне корпуса входят кабели и шланги охлаждения. На тыльной стороне имеется клемма заземления. В корпусе расположен блок трансформаторов и батарея конденсаторов.

Блок трансформаторов состоит из группы трансформаторов соединенных последовательно первичными обмотками и параллельно вторичными. Обмотки намотаны проводом ЛЭШД 1075×0.071 в два провода на ферритовом кольце $K100 \times 60 \times 15$ M2000HM1. Входное напряжение понижается в шесть раз.

Батарея конденсаторов состоит из последовательно – параллельных ветвей конденсаторов К78 – 2 – 1000 В – 0.15 мкГ с суммарной емкостью 0.9 мкФ.

Входное напряжение прямоугольной формы, ток синусоидальной формы. Выходное напряжение и ток синусоидальной формы [3].

Функциональная схема блока приведена на рис.4.

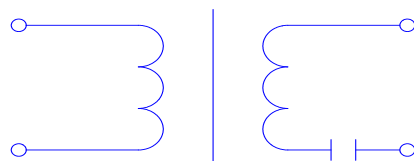


Рис. 4. Функциональная схема блока

Узел разливочный выполнен в металлическом корпусе, в котором закреплен индуктор и графитовый тигель. Индуктор выполнен из медной трубки диаметром 10 мм, намотанной в виде цилиндрической катушки с числом витков 12, внутренним диаметром 190 мм и высотой 160 мм.

Тигель расположен внутри индуктора и представляет собой графитовый стакан емкостью 1 литр. Тигель теплоизолирован от индуктора, нагрев тигля происходит индуктивными (наведенными) токами, которые возникают в стенках графитового тигля от воздействия электромагнитного поля тока текущего по индуктору.

Разливочный узел изображен на рис.5.

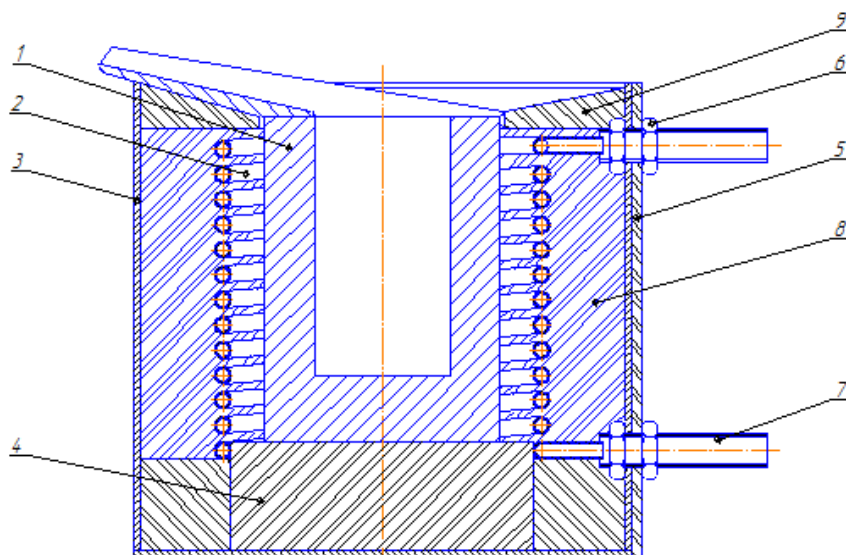


Рис. 5. Разливочный узел

- 1 – графитовый стакан-тигель; 2 – индуктор; 3 – кожух разливочного узла;
4 – огнеупорный кирпич; 5 – текстолитовая пластина; 6 – гайка; 7 – трубка;
8 - теплоизоляция (шамот, каолиновая вата); 9 – футеровка

Указания мер безопасности

Помещение для размещения УПВ должно соответствовать требованиям, предъявленным к помещениям с электроустановками до 1000 В. Покрытие полов и стен не токопроводящее (желательно).

Персонал, обслуживающий установку, должен иметь квалификацию, позволяющую ему работать с электроустановками до 1000 В.

Корпуса генератора (источника питания), согласующего устройства, разливочного устройства должны быть соединены с контуром заземления. Сечение заземляющих проводников не менее 1 мм² и длиной не более 5 м.

Подача напряжения сети 380 В на установку должна производиться через автоматический выключатель и сечением проводников не менее 4 мм².

Пожарная безопасность помещения и требования безопасности при проведении работ – в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.027 – 81 «Работы литейные. Требования безопасности».

Обслуживание установки, связанное с проведением осмотров или ремонтных работ, должно производиться при выключенном напряжении сети, и отключенным от сети кабелем питания.

Величина излучаемой мощности гибкого токовода и индуктора с тиглем не превышает установленные санитарные нормы.

Подготовка установки к работе

Разместить установку в рабочем помещении. Площадь помещения должна быть достаточной для размещения установки и проведения технологического процесса плавки и разлива металла.

Специальное оборудование помещения:

- ввод электропитания 380/220 В, 50 Гц, 7 кВт;
- ввод и вывод охлаждающей индуктор жидкости (проточная водопроводная вода) с давлением на входе 1 ± 2 атм.; температура на входе не более 30 °С, ввод должен быть оборудован запорным

вентилем, расположенным в помещении, длина каждого шланга не менее 2 м (во избежание утечек мощности по охлаждающей жидкости);

- приточно-вытяжная вентиляция в соответствии с характером металлургического процесса.

Заземлить металлические корпуса установок.

Соединить блоки установки между собой с помощью кабелей и тоководов.

Подключить установку к сети.

Подключить к установке магистраль с охлаждающей жидкостью, открыть запорный вентиль, проверить протекание воды через индуктор.

Установить регулятор мощности в крайнее правое (по часовой стрелке) положение.

Генератор готов к работе. **ВНИМАНИЕ!** Установка используется только с графитовым тиглем. Включить установку без тигля или с другим тиглем недоступно.

Включить на лицевой панели источника питания сетевой автомат. Включить тумблер сеть, при этом должен засветиться индикатор «Сеть» (зеленого цвета). Нажать кнопку «Вкл нагрев» (черного цвета), вольтметр покажет напряжение (около 270 В), амперметр покажет ток нагрузки, должен светиться индикатор «Нагрев» (желтого цвета).

Плавное поворачивая потенциометр (против часовой стрелки) добиться максимального отклонения стрелки амперметра, при этом должен наблюдаться визуально и при необходимости отрегулировать мощность с помощью ручки потенциометра. В случае превышения мощности источника (сгоревший или лопнувший тигель) сработает защита, появится сигнал «Перегрузка» (красный цвет), и источник отключится.

Выключить установку, нажатием красной кнопки «Откл нагрев»

Повернуть потенциометр вправо. Повторить включение установки.

Порядок работы

Включить выключатель автоматической сети и тумблер «Сеть» при этом должен засветиться зеленый индикатор «Сеть».

Установить ручку регулятора мощности в крайнее правое (по часовой стрелке) положение. Нажать кнопку «Вкл нагрев» (черного цвета), должны засветиться индикатор «Нагрев» (желтого цвета) и отклоняться стрелки приборов. Вольтметр должен показывать напряжение $250 \div 270$ В, амперметр ток нагрузки $2 \div 5$ А. Плавное вращая ручку регулятора (по часовой стрелки) мощность установить P_N начальное. Величина мощности мало зависит от наполнения тигля. По мере нагрева частота контура будет увеличиваться и необходимо подстраивать с помощью вращения ручки регулятора (против часовой стрелки). По мере нагрева тигля, ток нагрузки в начале немного уменьшится, а затем возрастает до своего установившегося значения. Допустимо ручку регулятора остановить в положении предыдущего нагрева. Тогда первичный нагрев тигля будет происходить немного медленнее.

После достижения температуры тигля $500 \div 700$ °С (ярко красный цвет) можно наполнять его металлом (металл должен быть сухим и чистым, не маслинным), если металл в виде стружки – она должна быть спакетирована. Контроль за ходом нагрева и плавления металла осуществлять визуально при снятой крышке с тигля и отключением «Нагрева». После достижения расплавом требуемой температуры нагрева отключить установку нажав кнопку «Откл. нагрев» и выполнять разлив металла через край тигля в сухую подогретую форму. После завершения операций нагрев, разлив и отключение установки, тигель должен быть пустым. Внимание, во избежание выхода из строя индуктора:

а) отключать водяное охлаждение индуктора только после остывания тигля;

б) при установке или использовании нештатного тигля, токи нагрузки могут сильно отличаться от номинальных. Может срабатывать защита от нагрузки источника.

Указания по эксплуатации

В процессе эксплуатации необходимо осуществлять контроль за состоянием токоведущих разъемных соединений. В случае их нагрева, установку отключить и болтовые соединения подтянуть.

Расход воды регулировать с помощью входного вентиля. Температура воды на выходе не более $30 \div 40$ °С.

С периодичностью один раз в год необходимо выполнять очистку и осмотр внутреннего состояния блока питания и согласующего устройства.

Замену тигля производить по мере их износа снижения толщины стенок (сохранение герметичности, механической прочности и электрических характеристик).

Новый тигель устанавливается по центру индуктора. Зазор между индуктором и тиглем $10 \div 15$ мм необходимо заполнить каолиновой ватой, тщательно утрамбовывая вату слой за слоем. Тигель

должен выступать над верхним витком индуктора на $10 \div 20$ мм. Верхняя поверхность между тиглем и корпусом разливочного устройства замазать раствором песка и жидкого стекла. Время сушки при $t=25$ °С - 24 часа. После замены тигля, необходимо выполнить нагрев пустого тигля (проверочный).

Вывод:

Установка для производства электродов, позволяет ускорить процесс получения электродов контактной сварки и использовать в качестве материала вторичное сырье, что повышает экологичность производства и в значительной мере удешевляет конечную стоимость продукции.

Литература.

1. Бусыгин С.Л., Синичкин А.М., Токмин А.М. Получение электродов контактной сварки совмещенным способом литья и штамповки // Международный научно-технический журнал «Металлургия машиностроения» Вып. №2 / гл. ред. И.А. Яскевич. – Москва, ООО «Литейное производство», 2013. – 52с. / с. 39-43.
2. Бусыгин С.Л., Рукосуев А.П., Крушатина С.К., Демченко А.И., Рафальский А.С. Применение ресурсосберегающей технологии металлургической переработки меди и медных сплавов для получения электродов контактной сварки // Вестник СибГАУ / гл. ред. Г.П. Беляков. Красноярск, РИО СибГАУ, 2010. №6.с. 119-121.
3. Фарбман С.А., Колобнев С.А. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов / М.: Металлургия, 1968. 494 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОКАТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э78ХСФ
НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ**

*А.А. Уманский**, к.т.н., доц., *А.В. Головатенко***, *В.Н. Кадыков**, к.т.н., доц.

**Сибирский государственный индустриальный университет*

***ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»*

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42 тел. (3843) 46-35-02

654043, г. Новокузнецк, ш. Космическое, 16 тел. (3843) 46-35-02

E-mail: umanskii@bk.ru

На сегодняшний день в литературных источниках имеются достоверные данные о величинах сопротивления деформации (сопротивление стали пластическому деформированию) только для ограниченного количества марок стали, в частности отсутствуют данные о сопротивлении деформации рельсовых сталей. Также в литературе [1-3] имеются данные о значительном влиянии на сопротивление деформации таких параметров, как: химический состав прокатываемой стали, температура и скорость прокатки, величина обжатий (степень деформации). Результаты исследований по данному вопросу, как правило, представляются в виде графических зависимостей сопротивления деформации конкретной марки стали от термомеханических параметров прокатки; количественные зависимости сопротивления деформации от изменения содержания основных химических элементов, при этом, отсутствуют. В частности авторами работы [1] получены указанные зависимости для электротехнических сталей, авторами работы [2] – для 21 марки углеродистых, легированных и высоколегированных сталей и 5 марок жаропрочных сплавов.

Следует отметить, что отсутствие данных о действительных значениях сопротивления деформации не позволяет с достаточной степенью достоверности прогнозировать величину нагрузок на основное и вспомогательное оборудование прокатных станов при проектировании новых режимов прокатки. В результате возможно либо появление перегрузок оборудования при прокатке (в случае занижения расчетных значений сопротивления деформации по сравнению с действительными его значениями), либо недоиспользование оборудования и, как следствие, снижению производительности стана (при использовании завышенных значений сопротивления деформации по отношению к реальным значениям). Таким образом, прогнозирование действительных значений сопротивления деформации при различных условиях прокатки и изменяющемся химическом составе стали имеет чрезвычайно важное значение.

С целью определения влияния температурно-скоростных параметров прокатки на сопротивление деформации рельсовой стали проведены экспериментальные исследования [4] методом испытаний на горячую осадку с использованием специальной установки «Hydrawedge II» – модуля комплекса для физического моделирования «Gleeble System 3800». В состав установки «Hydrawedge II»

входят (рисунок 1): приборы для контроля параметров испытаний (температуры, усилия, перемещения); закалочные форсунки; передвижной модуль для создания инертной атмосферы в рабочей камере; деформирующие передвижные штанги, оборудованные системой водяного охлаждения. Использование установки «Hydrawedge II» позволяет проводить деформацию образцов при постоянной скорости перемещения деформирующей штанги или постоянной скорости деформации образцов при заданной температуре. Возможность создания инертной атмосферы в рабочей камере, реализуемая за счет использования вакуумных насосов, позволяет избежать окисления поверхности образцов при повышенных температурах. Нагрев образцов осуществляется за счет пропускания электрического тока непосредственно через образцы. Данный способ нагрева обеспечивает достаточно высокую однородность температуры в объеме образцов. Контроль температуры производится с помощью термопар.

Выбор в качестве метода испытаний горячего сжатия обусловлен отсутствием значительной неоднородности деформаций по длине и сечению образца, возникающих при использовании других методов горячих испытаний, в частности растяжения и кручения. При этом имеющийся недостаток метода горячего сжатия, а именно искажение формы боковой грани образца после испытаний («бочкообразная» форма образца), можно в значительной степени нивелировать за счет выбора оптимальной формы образца, использования смазки, подаваемой на поверхность деформирующих инструментов и оптимизации формы деформирующих инструментов.

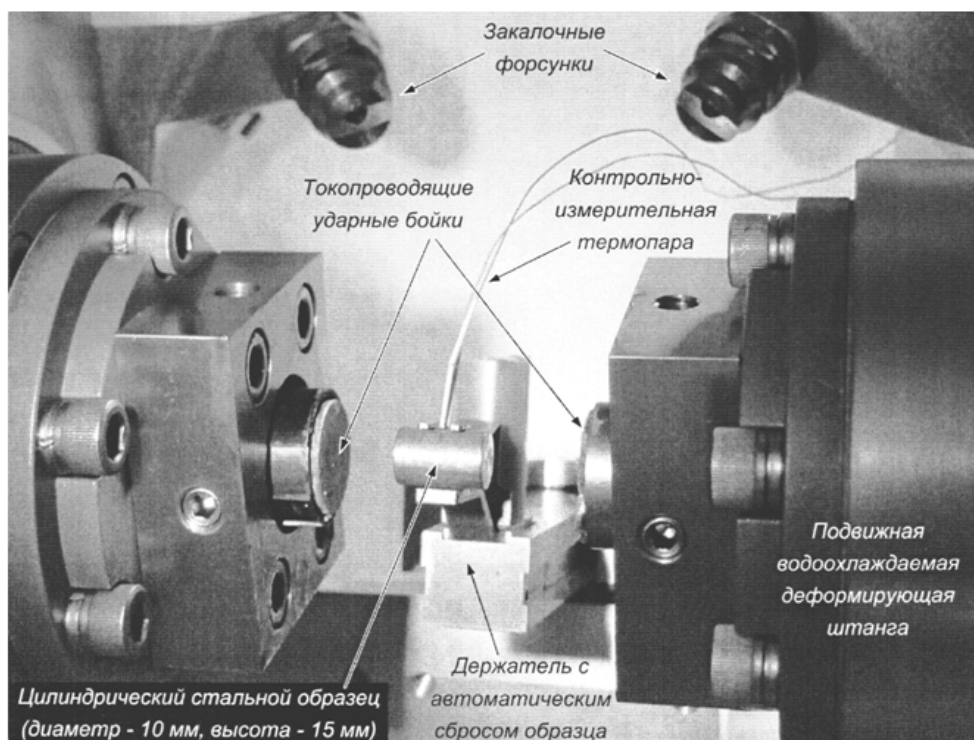


Рис. 1. Рабочая камера модуля «Hydrawedge II» комплекса «Gleeble System 3800»

При проведении исследований на установке «Hydrawedge II» испытания на горячую осадку проводили при скорости деформации $0,1 \text{ с}^{-1}$, 1 с^{-1} и 10 с^{-1} ; температурах 900°C , 950°C , 1000°C , 1050°C , 1100°C и 1150°C (таблица 1) и степени относительной деформации в интервале до 1,0.

Таблица 1

План эксперимента по испытаниям образцов

$t, ^\circ\text{C} / \dot{\epsilon}, \text{с}^{-1}$	900	950	1000	1050	1100	1150
0,1	×	×	×	×	×	×
1	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×

Использовали образцы 4-х плавок стали Э78ХСФ, вырезанные из головки рельсов по двум схемам (рисунок 2).

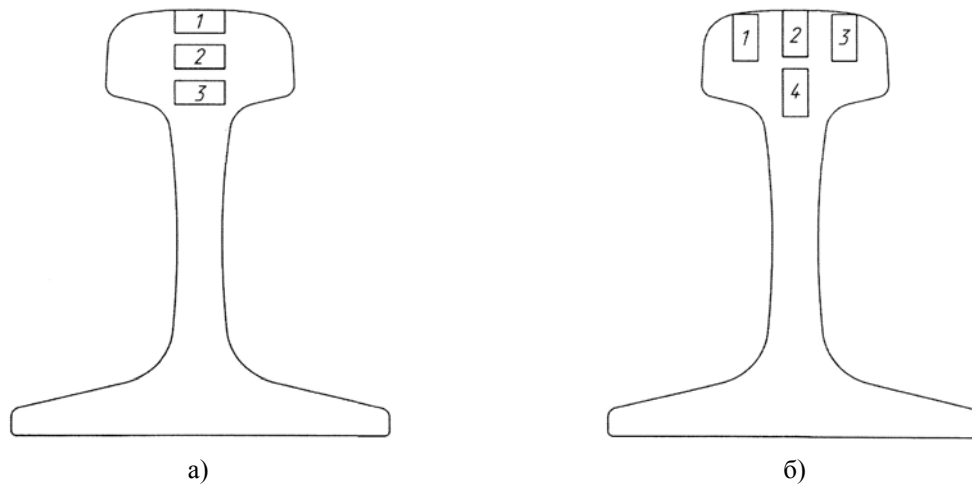


Рис. 2. Схема вырезки образцов из рельсов:
а – горизонтальное расположение образцов по сечению головки рельса;
б – вертикальное расположение образцов по сечению головки рельса.

Режим испытаний включал в себя следующие этапы (рисунок 3):

- 1 – нагрев образцов в вакууме со скоростью $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры 1200°C ;
- 2 – изотермическая выдержка при достигнутой температуре 1200°C в течение 600 с ;
- 3 – подстуживание стали до температуры деформации ($900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$) со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$;
- 4 – деформация при заданной температуре ($900\text{-}1150^{\circ}\text{C}$);
- 5 – охлаждение со скоростью $10\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

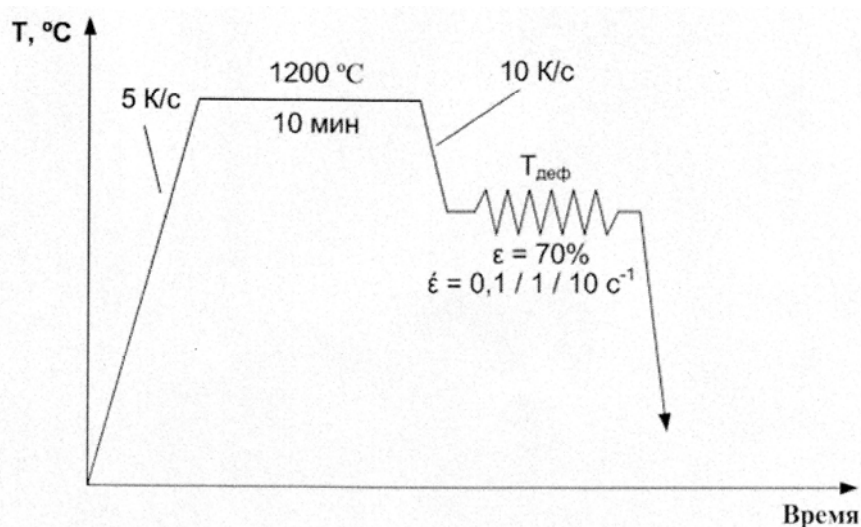


Рис. 3. Режим испытаний образцов на установке «Hydrawedge II»

Полученные результаты испытаний обобщены в виде графических зависимостей сопротивления деформации от степени относительной деформации, температуры и скорости прокатки. Характер полученных кривых (на примере образцов от рельса одной из плавок – рисунок 4) свидетельствует, что при увеличении степени деформации до некоторого предела происходит увеличение значений сопротивления деформации, а затем (при достижении указанного предела) сопротивление деформации остается практически на том же уровне или незначительно снижается. Далее, при достижении степени деформации более $0,70$, сопротивление деформации вновь возрастает.

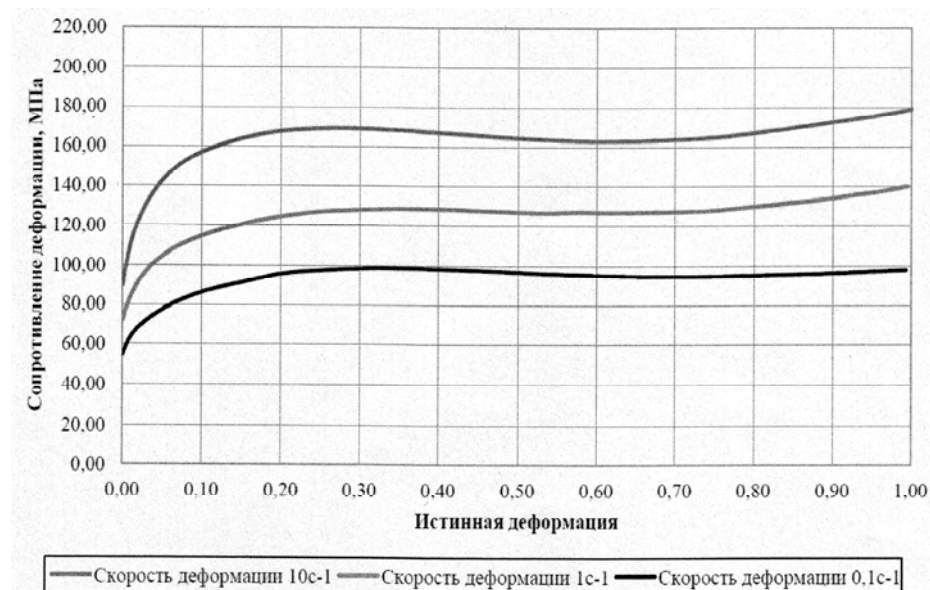


Рис. 4. Экспериментальная зависимость сопротивления деформации стали Э78ХСФ от скорости и степени деформации при температуре 950⁰

Следует отметить, что полученный характер экспериментальных зависимостей до значений степени деформации на уровне 0,70 совпадает с зависимостями для различных марок сталей, полученных авторами работ [1-3] и согласуется с существующими теоретическими представлениями. В процессе деформации одновременно происходят процессы упрочнения и разупрочнения металла, и сопротивление деформации прекращает увеличиваться по достижении предела упрочнения. Из литературных данных известно, что предел упрочнения определяется химическим составом стали и температурно-скоростными условиями прокатки. На рассматриваемых плавках стали Э78ХСФ предел упрочнения наблюдается при степени деформации 0,25-0,40. В то же время участки кривых, соответствующие значениям степени деформации 0,7-1,0 не согласуются с существующими представлениями по теории прокатки и, очевидно, связаны с погрешностями эксперимента. Справедливости ради следует отметить, что в промышленных условиях такие интенсивные обжатия раската (со степенью деформации 70-100 %) не применяются, и, следовательно, полученные зависимости могут быть применены для определения энергосиловых параметров прокатки.

Касательно абсолютных значений сопротивления деформации при различных температурно-скоростных параметрах прокатки можно отметить, что по полученным данным повышение температуры прокатки стали в интервале 900-1150⁰С приводит к снижению сопротивления деформации, а повышение скорости деформации в интервале 0,1-10 с⁻¹ наоборот увеличивает сопротивление деформации.

На основании обработки полученных экспериментальных зависимостей сопротивления деформации от термомеханических параметров прокатки получено уравнение вида:

$$\sigma = A \cdot e^{m_1 \cdot t} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} \cdot (1 + \varepsilon)^{m_5 \cdot t} \cdot e^{m_7 \cdot \varepsilon} \cdot u^{m_8 \cdot t}, \quad (1)$$

где A, m₁-m₈ – константы;
 t – температура прокатки, ⁰С;
 ε – степень деформации;
 u – скорость деформации, с⁻¹.

Далее с использованием методики множественного регрессионного анализа исследовали влияние содержания в стали Э78ХСФ основных химических элементов (С, Si, Mn, Cr, S, P, V) на величину констант уравнения (1).

В результате получены уравнения регрессии вида:

$$A = 4365,4 + 69118 \cdot S, \quad (2)$$

$$m_1 = -0,0033 - 0,0043 \cdot V, \quad (3)$$

$$m_2 = 0,2607 - 5,7663 \cdot P, \quad (4)$$

$$m_3 = -0,0025 + 0,00308 \cdot C + 0,00025 \cdot Mn, \quad (5)$$

$$m_4 = -0,0015 + 0,0475 \cdot P, \quad (6)$$

$$m_5 = -0,407 + 0,655 \cdot Mn, \quad (7)$$

$$m_6 = 0,0002 - 0,0012 \cdot V \quad (8)$$

По полученным данным на сопротивление деформации рельсовой стали Э78ХСФ значимое влияние оказывает изменение содержания следующих элементов (в интервале их изменения согласно требований ГОСТ Р 51685-2000): углерод, марганец, сера, фосфор и ванадий.

Увеличение содержания углерода и марганца в стали в рассматриваемых пределах приводит к повышению сопротивления деформации. Полученные данные согласуются с результатами других исследований [2], которые свидетельствуют о снижении пластичности легированных сталей при увеличении содержания перечисленных элементов.

Повышение концентрации серы и фосфора приводит к увеличению сопротивления деформации стали Э78ХСФ, что обусловлено резко отрицательным влиянием данных элементов на пластические свойства стали. По данным многочисленных исследований влияние серы и фосфора на пластичность стали наблюдается даже при относительно низком их содержании, что обусловлено свойством образуемых ими соединений концентрироваться в межзеренном пространстве в процессе кристаллизации слитков. Так превышение концентрации серы в областях по границам дендритов над среднеплавочным значением может достигать 15...2000 раз, для фосфора разница концентраций составляет 10...25 раз [5]. Например, известно утверждение А.П. Гуляева об отрицательном влиянии фосфора при любых его концентрациях [6].

Увеличение содержания ванадия в рассматриваемой стали с 0,04 до 0,07 % наоборот приводит к снижению сопротивления деформации, что объясняется значительным влиянием присадок ванадия даже в небольших количествах на повышение пластичности стали.

Отсутствие влияния кремния на сопротивление деформации объясняется его незначительной концентрацией в рассматриваемой стали (до 0,55 %) – имеются данные [2], что кремний значительно повышает сопротивление деформации сталей только при его концентрации на уровне 1,5-2,0%. Касательно хрома можно отметить, что по данным [2] для высокоуглеродистых хромистых сталей (с содержанием хрома более 0,45 %) решающее влияние на сопротивление деформации оказывает не хром, а углерод.

Для проверки достоверности полученных зависимостей (1-8) с их использованием провели расчет сопротивления деформации и усилия прокатки для обжимных клетей универсального рельсобалочного стана ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». При расчете сопротивления деформации химический состав стали Э78ХСФ принимали, соответствующим средним значениям согласно требований ГОСТ Р 51685-2000 для углерода, марганца, кремния, и хрома; содержание ванадия приняли равным 0,07 %, исходя из того, что на практике его содержание стараются выдерживать ближе к нижнему пределу (0,05 %); содержание серы и фосфора приняли – 0,015 % для каждого элемента – таблица 2.

Таблица 2

Химический состав стали Э78ХСФ, принятый при расчетах

Содержание элемента, %						
C	Si	Mn	Cr	V	S	P
0,78	0,60	0,90	0,50	0,07	0,015	0,015

Изменение температуры раската по проходам определяли с помощью методики [7], позволяющей рассчитать падение температуры:

$$\Delta t_i = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 \cdot P_i \cdot \tau_i}{S_i} + \left(\frac{1000}{t_{oi} + \Delta t_{Di} + 273} \right)^3}}, \quad (9)$$

где P_i – периметр поперечного сечения после прохода;

τ_i – время охлаждения раската при перемещении;

t_{oi} – температура перед входом в рассматриваемый калибр;

Δt_{Di} – повышение температуры раската в рассматриваемом калибре.

$$\Delta t_{Di} = 0,183 \cdot \sigma \cdot \ln \lambda, \quad (10)$$

где σ – сопротивление металла пластической деформации;

λ – коэффициент вытяжки.

Расчет усилия прокатки производили по стандартной методике согласно рекомендаций авторов работы [8].

Сравнительный анализ расчетных и фактических данных по усилию прокатки показал, что погрешность не превышает 15 %. Таким образом, показана возможность использования полученных аналитических зависимостей сопротивления деформации от химического состава стали и температурно-скоростных параметров прокатки при разработке новых режимов прокатки в условиях действующих прокатных станов.

Литература.

1. Приходько И.Ю. Метод определения сопротивления деформации металлов со сложной зависимостью реологических свойств от параметров деформирования / И.Ю. Приходько, А.А. Сергеенко, В.В. Разносилин // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск.: ИЧМ НАН Украины, 2007. – Вып. 14. – С. 187-193.
2. Зюзин В.И. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке / В.И. Зюзин, М.Я. Бровман, А.Ф. Мельников. – М.: Металлургия, 1964. – 270с.
3. Карпов С.В. Сопротивление деформации марганцовистых сталей / С.В. Карпов, А.А. Банщиков, А.С. Карпова // Ползуновский альманах. – 2003. – №8. – С. 123-126.
4. Головатенко А.В. Анализ экспериментальной зависимости сопротивления деформации рельсовой стали Э78ХСФ от температуры, скорости и степени деформации / А.В. Головатенко, В.В. Дорофеев, В.А. Трусков, К.В. Волков, А.В. Добрянский // Металлург. – 2014. – №6. —С. 118-123.
5. Suzuki H. // Testu to hagane. J.I.S.I. Japan, 1981. V. 67. №4. P. 166.
6. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.
7. Зяблицева Е.О., Литвинов Р.А., Шилов В.А. Моделирование температурных полей при прокатке рельсов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 5. – С. 51-53.
8. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инарович – М.: Теплотехник, 2008. – 490 с.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

С.Н. Федосеев, асп., В.Г. Осипова, ст. гр. 10В41

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: fedoseevsn@list.ru

Модифицирование стальных слитков и непрерывно литых заготовок, подвергаемых в дальнейшем горячей деформации (прокатке, ковке), за последние 20-25 лет получило значительное распространение в «большой металлургии». В первую очередь, это связано с развитием технологии внепечной обработки сталей, включающей в себя присадку в жидкий металл в ковше, или на разливке модифицирующих добавок, в основном – силикокальция.

В «малой металлургии» при производстве фасонного литья эта технология до сих пор имеет ограниченное распространение, что в определенной степени связано со слабым знанием возможностей и преимуществ модифицирования литейных сталей. Этому вопросу и посвящен настоящий доклад, основанный на литературных данных и нашем собственном опыте.

Одним из важнейших результатов модифицирования является повышение жидкотекучести стали. Так, при испытании модификаторов серии Insteel (SiCaBa, SiCaBaP3M, SiCaBaTi) на Чебоксарском ОАО «Промлит» отмечено значительное улучшение жидкотекучести стали 20ГЛ. Это проявилось в сокращении времени заливки одной формы примерно на 20%. В ковшах, принимающих металл с присадками лигатур, полностью исключились случаи «закозления» днища и стенок ковшей, разливка успешно проходила даже при пониженных температурах выпускаемой стали.

Повышение жидкотекучести улучшает заполняемость форм, повышает качество поверхности отливок, что особенно важно при производстве точного литья (Ижевский механический завод, модификатор – Insteel (SiCaBaPЗМ, Al)). Одним из технологических следствий повышения жидкотекучести модифицированного металла является возможность снизить температуру разливаемой стали, что, в свою очередь, позволяет реализовать новые положительные стороны этой технологии. Так, при производстве отливок из нержавеющей стали 12Х18Н9ТЛ за счет применения комплексного модификатора удалось понизить температуру примерно на 20 °С и при этом значительно снизить поразенность отливок пленами и неспаями. Живучесть расплава, т.е. возможная продолжительность успешной разливки, возросла с 5-8 до 10-13 мин (при разливке 500 кг металла). Одновременно отмечено улучшение механической обрабатываемости отливок (ЗАО «Поликом», г. Челябинск). На Лысьвенском металлургическом заводе снижение температуры разливки стали 110Г13Л также на 20 °С позволило исключить пригар металла к жидкостекольным стержням. В последнем случае можно дополнительно ожидать измельчения литой структуры отливок.

Понижение температуры разливаемой стали за счет уменьшения газонасыщенности жидкого металла и величины усадки позволяет ослабить развитие горячих термических трещин и других дефектов газосудачного характера.

Большинство исследователей отмечают [1] снижение загрязненности модифицированной стали неметаллическими включениями, напрямую связывая этот факт с наблюдаемым повышением её жидкотекучести. При этом наиболее существенно уменьшается или полностью устраняется загрязненность высокоглиноземистыми включениями. Например, нами при присадке в центровую комплексной лигатуры Insteel (Ca, Ba, PЗМ) на стали 50ХГФА при отсутствии глиноземистых строчек получено резкое снижение балла пластичных силикатов и заметное улучшение по хрупким оксидам (ОАО «Чусовской металлургический завод»). Причина этого положительного воздействия, вероятно, заключается в том, что при вводе нескольких активных элементов, в первую очередь – кальция, продуктами раскисления является не чистый глинозем, а комплексные жидкие включения алюминатов кальция с добавками других соединений, в которых активность Al_2O_3 , естественно, ниже, чем в чистом глиноземе, что повышает раскислительную способность алюминия. Это относится и к другим раскислителям, например, кальцию. В результате, при одних и тех же температурах модифицированный металл содержит меньше равновесного кислорода, а более раннее и интенсивное образование включений повышает возможность их удаления в ковше и, особенно, в изложнице.

Меньшая загрязненность модифицированного металла является причиной получения более высоких пластических свойств, в первую очередь, ударной вязкости при обычных и пониженных температурах испытаний. На ОАО «Икар» (г. Курган) удаление глиноземистых включений с границ литых зерен за счет использования силикокальций-барьерной лигатуры обеспечило требуемый повышенный уровень хладостойкости ($KCU_{60} \geq 40$ Дж/см²) отливок из стали 25Л при их упрощенной термической обработке на основе нормализации, хотя обычно для этих целей используют легированные стали с более сложной термообработкой отливок.

Значительное улучшение механических, особенно пластических свойств получено также при модифицировании углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей на Самарском сталелитейном заводе.

Особо следует остановиться на возможности существенного снижения серы в металле за счет применения PЗМ-содержащих модификаторов. Эта проблема представляет большой интерес для литейщиков, выплавляющих сталь в кислых печах, где обеспечить требуемые значения концентрации серы возможно только при использовании чистой шихты. Было показано [2], что возможности PЗМ-содержащих модификаторов в этом отношении достаточно велики. За их счет содержание серы в выпускаемом из печи металле может быть снижено в среднем на 25%. Наблюдаемое при этом значительное различие средних и максимальных величин десульфурации (до 20%) говорит о наличии больших резервов этой технологии. Эти резервы заключаются в оптимизации вещественного, количественного и гранулометрического состава модификаторов, условий их присадки, в порядке раскисления стали и др. Дополнительно следует отметить, что отмеченное снижение серы сопровождается улучшением механических свойств и повышением хладостойкости отливок, а также исключает накопление серы в общем объеме металлошихты, что имеет место при значительном использовании собственного возвратного литья.

Значительную роль могут сыграть модификаторы в ослаблении или устранении отрицательного влияния находящихся в металле газов – азота и водорода. В случае их повышенных концентраций отливки поражаются ситовидной пористостью, раковинами, трещинами и даже флокенами. Для уст-

ранения дефектов, вызываемых азотом, могут быть полезными модификаторы, в составе которых есть сильные нитридообразующие элементы – титан, или цирконий. Для нейтрализации вредных последствий, связанных с водородом, рекомендуются РЗМ-содержащие модификаторы, способствующие связыванию водорода в прочные гидриды и таким образом препятствующие, или замедляющие его выделение в твердом металле в виде флокенов. [3]. За счет этого может быть повышен безопасный уровень концентраций водорода, снижена интенсивность и длительность процесса вакуумирования жидкой стали, а также сокращена противоблокеновая термообработка отливок вплоть до полного исключения последней.

Все вышесказанное не исчерпывает многообразия возможностей модифицирования по улучшению качественных показателей стали. Поэтому следует, хотя бы кратко, обозначить некоторые дополнительные положительные аспекты применения этой технологии:

- за счет изменения параметров кристаллизации (повышение её скорости, уменьшение зоны трансформации и др.) обработка расплава модификаторами приводит к существенному измельчению литой и термообработанной структуры отливок;

- модифицирование ослабляет развитие ликвационных явлений, повышая тем самым равномерность распределения в отливке углерода, серы, фосфора, примесей цветных металлов, что особенно важно при производстве крупных отливок, например, валковых слитков [4];

- за счет измельчения литой структуры высоколегированных сталей, снижения содержания α -фазы в аустенитных нержавеющих сталях можно существенно улучшить их служебные характеристики (жаростойкость, стойкость к межкристаллитной коррозии и др.);

- снижение загрязненности стали неметаллическими включениями, изменение их состава и свойств обеспечивают модифицированному металлу повышенную коррозионную стойкость в агрессивных сероводородсодержащих средах и тем самым значительно удлиняет срок службы магистральных нефтепроводов [5];

- переводя примеси цветных металлов из легкоплавкого состояния в достаточно тугоплавкие соединения, модифицирование ослабляет их отрицательное влияние на горячую пластичность литого металла, снижает его трещиностойкость и др.;

- модифицирование – эффективное средство ослабления отпускной хрупкости термообработанного металла.

Результаты модифицирования определяются, главным образом, содержанием активных элементов (Са, Ti, РЗМ и др.) как в жидком металле (в ковше, изложнице, кристаллизаторе), так и в готовой стали. Величина этих концентраций зависит от многих факторов – марки стали, степени её раскисленности, места и способа присадки модификатора, наличия и состава шлака в ковше, продолжительности разлива и др. Поэтому заранее определить оптимальные параметры или предусмотреть результаты модифицирования практически невозможно. А сама технология модифицирования обрабатывается только эмпирическим путем с учетом конкретных условий производства.

При этом следует учесть и оценить возможное влияние следующих технологических факторов:

- время присадки модификатора - в ковш, в самом начале выпуска металла из печи или при наполнении разливочного ковша на 1/3-1/2 его высоты; всю порцию задать сразу или присадку вести частями; следует помнить, что дача модификатора на дно горячего ковша до начала слива металла приводит к бесполезному сгоранию активных элементов;

- модификатор следует присаживать в хорошо раскисленный металл, поэтому надо рассмотреть возможность и эффективность предварительного раскисления алюминием или, по крайней мере, кремнием и марганцем;

- выбор оптимального удельного расхода модификатора – при малом расходе его действие проявляется слабо, при излишнем – неоправданно возрастают затраты; кроме того эффективность некоторых активных элементов, например, редкоземельных, имеет экстремальный характер, а оптимальный расход в значительной степени зависит от ряда факторов – состава металла, степени его легированности и раскисленности, содержания серы и др.; в некоторых случаях отмечается наличие оптимальных концентраций также для кальция [6];

- оптимальный фракционный состав модификатора определяется, в основном, ёмкостью разливочного ковша, а также временем присадки модификатора, продолжительностью слива и др. Например, при использовании Si-Ca-Ba-содержащей лигатуры с подачей её в виде крупки в ковше ёмкостью 1,0-1,5 т хладостойкость возрастала при переходе от фракции минус 5,0 мм к фракции 1,0-

10,0 мм, а максимальной была при фракции 3,0-10,0мм; в «чипсовом» варианте фракция 1,0-15,0 оказалась лучше по сравнению с 1,0-10,0мм;

- при проведении опытов необходимо контролировать химический состав каждой плавки, в том числе – обязательно по алюминию; желательна знать содержание в готовом металле Са, Ti, N, PЗМ и др. При использовании в составе модификатора нескольких активных элементов оптимальная величина концентраций алюминия может смещаться по сравнению с немодифицированной сталью;

- при наличии в ковше кислого или окисленного основного шлака, при выпуске плавки в несколько разливочных ковшей, при длительной выдержке металла в печи или в раздаточном ковше необходимо учитывать возможное изменение по содержанию алюминия и газов в металле начала и конца разливки [7], что может привести к нестабильности результатов модифицирования.

Литература.

1. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г., «Модифицирование и микролегирование чугуна и стали», М. «Металлургия», 1986, 271 с.
2. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г., «Десульфурация стали 25Л с помощью комплексных модификаторов с PЗМ», Литейное производство, №3, 2003, с. 30-31.
3. Белов Б.Ф., Троцан А.И., Бродский И.Л. и др., «Снижение флокеночувствительности конструкционной стали, микролегированной церием», Metallurg, №9, 2004, с. 40-41.
4. Зинченко В.Г., Судоргин И.В., «Внепечная обработка валковой стали комплексными модификаторами», В сб. «Современные проблемы электрометаллургии стали», Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004, с. 127-128.
5. Голубцов В.А., Воронин А.А., Тетюева Т.В. и др., «Происхождение неметаллических включений и пути снижения загрязненности ими металла», Metallurg, №4, 2005, с. 73-77.
6. Зайцев А.И., Родионова И.Г., Бакланова О.Н. и др., «Разработка рекомендаций по освоению производства в ОАО «Северский трубный завод» стальных труб повышенной стойкости против локальной коррозии», В сб. «Коррозионно-активные неметаллические включения в углеродистых и низколегированных сталях», М.: Metallurgizdat, 2005, с. 67-81.
7. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г. «Поведение азота в кислой индукционной печи», Metallurgia машиностроения, №5, 2003, с. 5-6.

ИЗМЕНЕНИЕ СТАЛЬНОГО СЛИТКА МОДИФИЦИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ

С.Н. Федосеев, асп., А.С. Шарифутдинова, ст. гр. 10В10

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: fedoseevsn@list.ru

Одной из актуальных проблем металлургического производства является улучшение качества выпускаемой продукции и интенсификация производственных процессов. Разнообразие физических, химических, технологических и других свойств стали обуславливает широкую классификацию сталей по способам производства. Качество стали можно определить зависимостью содержания вредных примесей и неметаллических включений в расплаве, чем меньше количество вредных примесей и неметаллических включений содержится в стали, тем ее качество выше. Необходимо увеличивать выход годного металла из слитка и, что особенно важно, повысить механические свойства литой стали. Например, увеличение срока службы труб в паровых котлах тепловых электростанций в большинстве случаев связано с решением проблемы повышения однородности слитка, как по структуре, так и по составу, и уменьшения загрязненности стали вредными примесями. Сложное легирование не всегда обеспечивает получение нужных свойств, поэтому исследователи пытаются улучшить качество сталей существующих марок воздействием на кристаллизацию и перекристаллизацию металла в процессе термической обработки и деформации. Во всех случаях качество деформированной и термически обработанной стали зависит от структуры и свойств слитка [1].

Следует отметить, что для повышения производительности при выплавке сталей рядовых марок приходится увеличивать размер изложниц и скорость разливки, что приводит к некоторому снижению скорости теплоотвода и во многих случаях к ухудшению качества слитка. Тенденция к повышению производительности наблюдается и при выплавке высоколегированных сталей,

неоднородность которых с увеличением размеров слитка возрастает в большей степени, чем при выплавке низколегированных. В связи с трудностями деформирования и более высокими требованиями, предъявляемыми к качеству проката, выход годного металла из слитка высоколегированных сталей и сплавов значительно уменьшается. Высокая стоимость легированного металла и сравнительно низкий выход годного вызывает необходимость уделять особое внимание повышению качества слитка.

Для улучшения качества слитка целесообразно использовать различные способы модифицирования. Под модифицированием стали или сплава в широком смысле этого слова понимают такое воздействие, при котором существенно изменяются структура и свойства при практически неизменном количестве основных компонентов. Модифицирование осуществляется малыми добавками растворимых и нерастворимых примесей.

Самым экономичным способом улучшения качества слитка следует считать модифицирование расплава растворимыми и нерастворимыми добавками, так как при этом не требуется дополнительного дорогостоящего оборудования. Вводимые в расплав малые добавки растворимых и нерастворимых примесей оказывают влияние на параметры кристаллизации, дислокационную структуру, дегазацию, образование неметаллических включений и вторичных фаз, ликвацию, изменение усадки, деформацию и скорость затвердевания корки слитка, а также на перекристаллизацию и рост зерна. В последнее время достигнуты большие успехи в использовании модификаторов для улучшения качества сталей и сплавов [2].

В решение вопроса о целесообразности модифицирования стали необходимо знать некоторые характеристики расплава и в первую очередь работу образования зародышей газовых пузырьков и центров кристаллизации. Работа образования кристаллических зародышей обуславливает склонность стали к переохлаждению, которое определяется составом и степенью чистоты кристаллизующейся стали. Вместе с тем выбор модификаторов и затравок связан с кинетикой их плавления, активностью и растворимостью в исследуемой стали.

Для определения оптимальной концентрации модификатора используют методы измерения поверхностного натяжения на границе жидкость – пар. С этой же целью изучают влияние модификаторов на коэффициент кинематической вязкости и на степень переохлаждения жидкой стали. По температурной зависимости кинематической вязкости и величине переохлаждения можно косвенно оценить взаимодействие инородных и основных атомов и степень активации и дезактивации нерастворимых примесей в расплаве. Последний вопрос слабо освещен в литературе, несмотря на его существенную роль при модифицировании слитка. Определяя температуру дезактивации примесей, можно установить склонность к зародышеобразованию в стали, подлежащей модифицированию, и активность затравки.

Работы по изучению влияния затравок с различной степенью совершенства структуры и плотностью дислокаций на качество выращиваемых монокристаллов и пленок полупроводниковых материалов представляют значительный интерес при обсуждении механизма модифицирования стали активированными или изоморфными нерастворимыми примесями. Еще больший интерес представляют работы по исследованию влияния дисперсности и распределения нерастворимых примесей на механические свойства композиционных сплавов, однако таких данных еще очень мало. Впервые исследовали влияние модификаторов на дислокационную структуру кремнистого железа. Скопление дислокаций и их блокирование примесями у границ зерен литого металла может привести к возникновению очень больших локальных напряжений, вызывающих образование трещин при деформации слитка. Модификаторы, взаимодействуя с примесями, должны, очевидно, способствовать более равномерному распределению дислокаций в кристаллизующемся металле.

Модифицирование стали включает в себя обоснованный выбор состава лигатуры, который может обеспечить решение поставленной задачи. К таким наиболее часто возникающим проблемам относятся устранение дефектов газоусадочного характера, снижение загрязненности отливок неметаллическими включениями, улучшение их механических свойств, повышение хладно- и жаростойкости литья и др.

В общем виде можно отметить, что введение в сталь кальция повышает ее жидкотекучесть, видоизменяет оксидные и сульфидные включения, улучшает пластические свойства отливок и др. Дополнение лигатуры барием приводит к повышению усвоения кальция и, соответственно, к усилению положительного воздействия последнего, хотя в ряде случаев отмечается эффективность использования одного бария (без кальция). Редкоземельные металлы не ухудшают жидкотекучесть

стали, снижают содержание в ней серы, эффективно модифицируют неметаллические включения, измельчают литую структуру отливок, ослабляют ликвационные процессы и чувствительность к водороду и т.д. Активные нитридообразующие элементы (титан, ванадий и др.) ослабляют отрицательное влияние повышенных концентраций азота, измельчают зерно, повышают прочностные характеристики отливок и т.д. [3].

Было установлено два типа воздействия модификаторов на структуру:

– Монотонное измельчение зерна с повышением содержания модификатора. При очень малых концентрациях влияние модификатора незначительно, а при концентрациях более 0,2–0,6% оно стабилизируется, поэтому обычно содержание модификаторов составляет 0,1–0,3%;

– Немонотонное измельчение зерна с областью оптимальной концентрации 0,01–0,1%, превышение которой приводит к увеличению размера зерна [4].

Влияние модифицирование зависит не только от количества вводимого модификатора, но и также от условий скорости охлаждения и последующей термической обработки сплава. Безусловно, эффект модифицирования зависит от активности вводимых добавок, окисленности, газонасыщенности, загрязненности металла, его физико-химических свойств, температуры расплава, длительности его выдержки в ковше и т.п. Поэтому при разработке сталей и сплавов, новых марок следует проводить систематические исследования с целью накопления достоверных данных для установления оптимальных концентраций технологических добавок.

Литература.

1. Шуб Л.Г. Рекомендации по модифицированию стали // Сб. докладов Литейного консилиума №2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов» – Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007 – с. 120.
2. Неймарк В.Е. Модифицированный стальной слиток // М.: Металлургия, 1977 – с. 200.
3. А.Н. Задиранов, А.М. Кац. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов // Издательство Российского Университета дружбы народов – с. 228.
4. Крещановский Н.С., Сидоренко М.Ф. Модифицирование стали // М.: Металлургия, 1970 – с. 296.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ ИЗЛОЖНИЦ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СЛИТКОВ ТИТАНА

Ю.Г. Новосельцев, к.т.н., доц., Д.С. Михайлова, ассистент, О.В. Баяндина, ассистент

Сибирский федеральный университет

660074, г. Красноярск, ак. Куренского 26, тел. (8391)-2912-562

E-mail: mtf.svarka@gmail.com

Изложницы кристаллизаторов для выплавки в вакуумных электродуговых печах слитков титана с целью изготовления космических аппаратов, для судостроения и т.д. изготавливаются, как правило, из хромовой бронзы БрХ08 с толщиной стенки 35–40 мм. Крупные габариты, хорошая теплопередача через стенку от расплавленного металла к охлаждающей воде, в процессе сварки создают проблемы интенсивного отвода тепла от зоны действия сварочной дуги по периферии металла. Вследствие этого обычные способы сварки не могут обеспечить нормальное расплавление бронзы и создание удовлетворительной сварочной ванны, что обусловило применение в качестве сварочного инструмента мощной плазменной дуги с температурой порядка 20000°C.

Объемное тепловложение в свариваемые кромки, высокая теплопроводность металла создали большие габариты сварочной ванны, в которой проходят различные металлургические процессы с участием конструкционного материала, присадка, защитного флюса и газов плазменной дуги.

Особенно заметную роль в данных процессах играет хром, находящийся в основном металле в пределах 0,8–1,2 %. При тангенциальном вводе плазмообразующего газа в плазмотроне, обеспечивающем стабильность плазменной дуги, образуе-

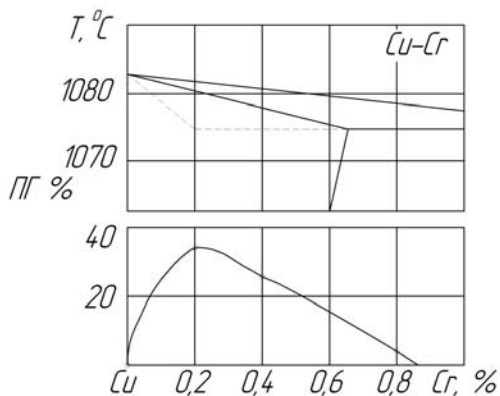


Рис. 1. Горячеломкость сплавов системы Cu-Cr [2, 3]

мое при этом вихревое состояние струи способствует некоторому подосу воздуха и введению его в сварочную ванну. Вследствие своего высокого сродства к кислороду хром в сварочной ванне выгорает, оставаясь в пределах 0,2%, и металл шва попадает в зону максимальной хрупкости (рис. 1).

В сформированном наплавленном металле образуются горячие микротрещины, не обнаруживаемые рентгеноконтролем, при капиллярном и цветном методах испытаний, но развивающиеся и проявляющиеся в процессе дальнейших технологических операций, сопровождаемых деформациями и нагревом изделия, рис. 2.



Рис. 2. Микротрещины ($\times 300$) в металле шва при плазменной сварке БрХ08. Содержание хрома менее 0,10% при сварке экспериментального образца

Известно, что запас технологической прочности при сварке (то есть стойкость против образования) горячих трещин зависит от соотношения трех характеристик: температурного интервала хрупкости (ТИХ), деформационной способности в этом интервале и интенсивности нарастания упругопластической деформации по мере снижения температуры (темпа деформации).

Величина ТИХ определяется химическим составом сплава, дендритной ликвацией, размером и формой кристаллитов, скоростями охлаждения и деформации. Её можно оценить ориентировочно по диаграмме состояния с учетом неравномерности кристаллизации и влияния примесей.

Пластичность сплава в ТИХ зависит от соотношения объемов твердой и жидкой фаз, размеров и форм кристаллитов и характера распределения жидкой фазы, химической и соответствующей структурной микронеоднородности, скорости деформации. Темп деформации определяется термическим коэффициентом линейного сокращения, жесткостью сварного соединения, характером распределения температуры (определяющим степень концентрации деформаций), а также формоизменением свариваемых изделий.

Очевидно, что для увеличения стойкости швов против образования трещин необходимо уменьшить ТИХ, пропорциональный эффективному интервалу кристаллизации. Согласно диаграмме Cu-Cr (рис. 1) этого можно достигать увеличением содержания хрома в металле шва, и, вследствие этого, повышением пластичности сплава в температурном интервале хрупкости.

Трещины имеют межкристаллитный характер с окисленной поверхностью. В этом случае, в проблеме разрушения следует рассматривать два направления:

1. Образование кристаллизационных трещин на конечных стадиях затвердевания, когда в междендритных пространствах находится необходимое количество обогащенной жидкой фазы – эвтектики ($\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$) имеющей более низкую, чем у меди, температуру кристаллизации, разрывая связи между зернами при деформационных усадочных напряжениях, то есть трещины располагаются в обогащенных межкристаллитных пространствах. Об этом же свидетельствуют работы ИЭС им. Патона [5].

2. Межкристаллитные разрушения (горячие трещины) ниже температур солидуса, когда сварной шов является одновременно твердым раствором с небольшой микрохимической неоднородностью – локальными скоплениями несовершенств кристаллической решетки. Вероятно, хрупкое разрушение сварных швов обусловлено данной неоднородностью и родственно иным видам высокотемпературного межкристаллитного разрушения в твердом состоянии, например, как ползучесть.

Таким образом, горячие трещины могут быть двух типов – кристаллизационные и полигонизационные [2, 3].

Особенно эффективно проявляется охрупчивание меди при термодиффузии эвтектики (Cu+CuO₂) в процессе плазменной сварки кислородосодержащей меди МЗ (рис. 3).

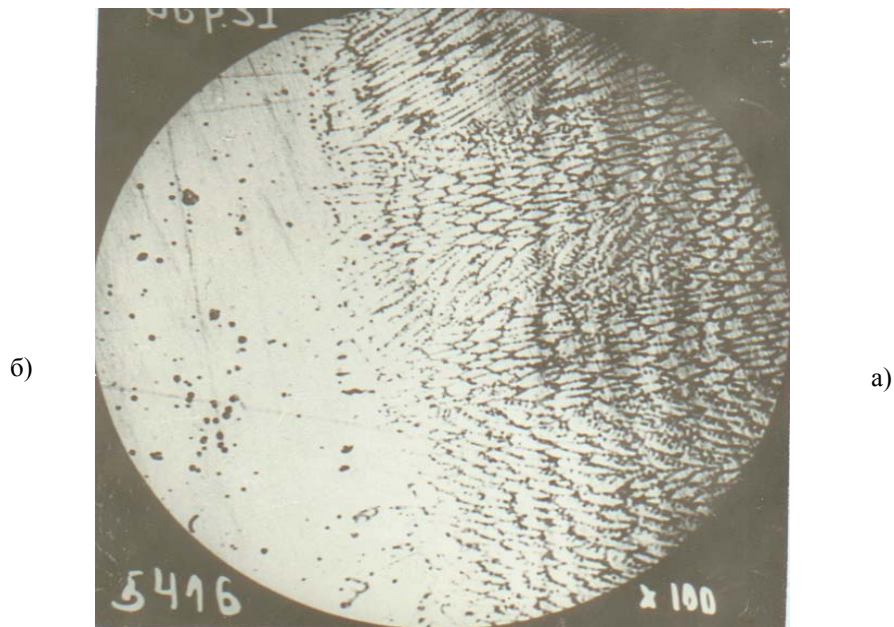


Рис. 3. Термодиффузия эвтектики (Cu+CuO₂) в сторону зоны нагрева меди МЗ мощной плазменной дугой (экспериментальный образец): а) скопление эвтектики (Cu+CuO₂) в з.т.в.; б) осветленная (очищенная) от эвтектики зона основного металла.

Очевидно, что для увеличения стойкости швов против образования трещин необходимо уменьшить ТИХ, пропорциональный эффективному интервалу кристаллизации. Согласно диаграмме Cu-Cr (рис. 1) этого можно достигать увеличением содержания хрома в металле шва, и, вследствие этого, повышением пластичности сплава в температурном интервале хрупкости.

Хром в качестве примеси в меди является элементом, уменьшающим склонность швов к трещинам [4, 6], а также является модификатором, уменьшающим размеры зёрен [4, 5], (рис. 4).

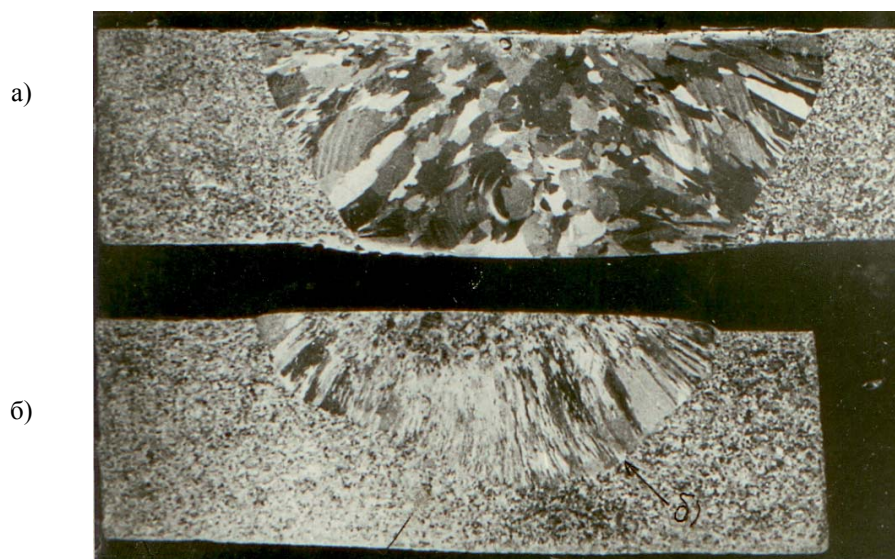


Рис. 4. Модификационное воздействие хрома при плазменной сварке меди и её сплавов. Экспериментальный образец. а) содержание хрома 0,2 % б) содержание хрома 1,2%

Медь и её сплавы активно поглощают кислород и водород, что резко ухудшает качество металла шва, особенно с образованием пористости при выделении растворенного в меди водорода в процессе охлаждения, так называемая «водородная болезнь» (рис. 5). Это предъявляет особые требования к качеству подготовки основного металла и присадочной проволоки с целью их обезвреживания.



Рис. 5. Плазменная сварка М2 (экспериментальный образец): а) присадок – проволока из меди М1 («водородная болезнь»); б) присадок – порошковая проволока с увеличенным количеством хрома (ППБрХТ 22-2)

В то же время отмечено, что «водородная болезнь» при сварке меди проявляется только при одновременном присутствии в металле шва водорода и кислорода, и, учитывая хорошую окислительную способность хрома, повышение его содержания в металле шва исключает появление пор.

Следует отметить хорошую растворимость хрома в меди в твердом состоянии, достигая при эвтектической температуре 1076,6 °С максимума 0,73%. С понижением температуры растворимость резко уменьшается, и при 400 °С становится равной 0,02% (табл. 1).

Таблица 1.

**Растворимость хрома в меди в твердом состоянии
в системе Cu-Cr**

Температура, °С	Растворимость хрома, %		Температура, °С	Растворимость хрома, %	
	по массе	атомные		по массе	атомные
1076	0,73	0,89	910	0,22	0,27
1070	0,62	0,76	900	0,19	0,23
1050	0,60	0,73	840	0,10	0,12
1030	0,44	0,54	800	0,08	0,10
1000	0,40	0,49	700	0,08	0,10
980	0,39	0,48	600	0,07	0,09
950	0,25	0,31	400	0,02	0,024

Попытки введения в сварочную ванну самого активного раскислителя титана приводит в случае его неполного выгорания к резкому снижению электро- и теплопроводности металла шва, то есть к снижению служебных характеристик изделия. В то же время дополнительное введение в металл шва хрома и повышение его содержания в сварном соединении незначительно влияет на электропроводность и, естественно, на теплопроводность изделия.

Очевидно, что перед сварщиками ставится задача сохранения содержания хрома или компенсации его выгорания. Дополнительная защита плазменной дуги от воздуха значительно усложняет и без того достаточно сложную конструкцию плазмотрона, одновременно не решая задачи защиты сварочной ванны, которая из-за высокой теплопроводности металла имеет большие размеры (более 90×160 мм). При этом увеличение расхода инертного газа с целью защиты расплавленного металла от воздуха вызывает выплёскивание жидкой фазы. Вследствии этого сварка производится по слою бинарной смеси флюсов АН-26 и АФ-4А в соотношении 10:1, где первый защищает сварочную ванну, а второй смывает тугоплавкую окисную пленку Cr₂O₃.

Для решения задачи компенсации угара хрома была создана присадочная проволока ПП БрХТ 22-2, где 22% хрома восстанавливает своё содержание в металле до (0,7-1,2)%, а 2 % титана, раскисляя сварочную ванну, выгорают полностью [7]. Проволока либо просто накладывается вдоль стыка,

либо подается в плазменную дугу (рис. 7). Это позволило получать прочное, пластичное и вакуумно-плотное сварное соединение при изготовлении крупногабаритных конструкций из хромовой бронзы типа БрХ08 (рис. 7, 8).

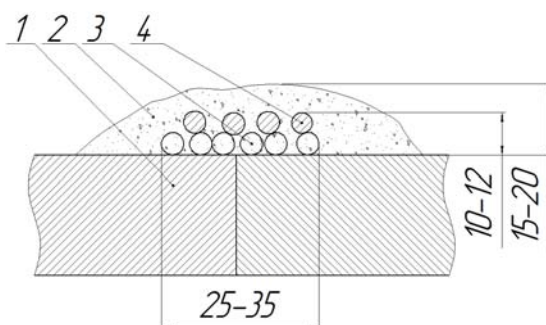


Рис. 7. Присадка ППБрХТ 22-2. 1) Основной металл БрХ08; 2) смесь флюсов АН-26 и АФ-4А; 3) Проволока ППБрХТ22-2; 4) Проволока М1

1. При плазменной сварке изложниц кристаллизаторов из толстолистовой хромовой бронзы стабилизационная тангенциальная подача плазмообразующего газа в плазмотрон и, вследствие этого, вихревое состояние плазменной струи приводит к подосу воздуха в сварочную ванну, обедняя хромом металл шва и вводя его в состояние повышенной хрупкости.
2. Для обеспечения пластичности и плотности сварного соединения необходимо в процессе сварки гарантировать в металле шва содержание хрома в пределах (0,8-1,2)%.
3. Требуемое содержание хрома в металле шва при плазменной сварке изделий БрХ08 обеспечивается применением в качестве присадки порошковой проволоки ППБрХТ22-2.

Литература:

1. Новосельцев Ю.Г./ Технологические особенности плазменной сварки крупногабаритных изделий из меди и её сплавов. Монография, ИПК СФУ, Красноярск, 2008.
2. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. М.: Наука, 1966.
3. Челноков Н.М. Исследование склонности меди и её сплавов к образованию горячих трещин при сварке. Ж. «Сварочное производство», 1957, №10.
4. Илюшенко В.М., Аношин В.А., Бондаренко А.Н., Исследование влияния примесей и ряда легирующих элементов на образование трещин при сварке меди. Сборник докладов на I Всесоюзной конференции «Актуальные проблемы сварки цветных металлов» Киев, «Наукова думка», 1980;
5. Илюшенко В.М., Аношин В.А. О влиянии примесей на склонность к образованию трещин при сварке меди. Сборник докладов на II Всесоюзной конференции «Актуальные проблемы сварки цветных металлов», Киев, «Наукова думка», 1985.
6. Зенкова Э.К., Гликман Е. Э. Механизм образования горячих трещин при сварке сплавов Ж. «Сварочное производство» № 6, 1986.
7. А.С. №323248. Присадочный материал для сварки меди (Гуревич С.М., и др. от 23.09.71 г.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТАНОВОК ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Д.А. Архипова, студентка группы 10А31,

Научный руководитель: Сапрыкина Н.А., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: arhipova_dasha@list.ru, nat_anat_sapr@mail.ru

В селективном лазерном спекании используются два основных материала, которые условно разделяют на «твердый» и «мягкий». К «мягким» относятся медь [1], алюминий [2], полиамид или бронзовый сплав. «Твердые» материалы – различные виды стали [3], титановые сплавы [4], никель [5]. Изделия, изготовленные из «мягких» материалов используются без дополнительного обжига, но требуют доводочных операций. Специальный бронзовый сплав применяется для уменьшения внутренних напряжений и коробления. Чтобы снизить пористость, модель перед использованием пропитывают эпоксидной смолой.

В технологии 3D-systems [6, 7] используют металлические порошковые материалы, покрытые тонким слоем полимера. Для уплотнения структуры модель после спекания подвергается обжигу и пропитывается бронзой.

В установке DirectMetal 20 фирмы EOS [7] применяется мелкодисперсный многокомпонентный порошок на основе бронзы. Получаемые детали обладают хорошими механическими свойствами и качеством поверхности. Поверхность легко поддается пескоструйной обработке и полированию. Для компенсации усадки при изготовлении точных деталей в порошковую смесь вводятся компоненты, имеющие отрицательную усадку. Толщина спекаемого слоя регулируется в пределах от 20 до 80 мкм. На этой установке изготавливаются металлические детали и оснастка для литья. Стойкость литейной формы составляет от десятков до тысяч деталей.

EOS MaragingSteel MS1 – мелкодисперсный стальной порошок [7]. Его состав отвечает стандартам США. Этот вид стали характеризуется высокими механическими характеристиками. Изделие подается обработке после изготовления. После термической обработки твердость повышается до 55 HRCЭ. В таблице 1.1 приведены технические характеристики порошка EOS MaragingSteel MS1. Этот тип стали используется для сложной оснастки и для изготовления высокотехнологичных деталей, например, в аэрокосмической отрасли. В таблицах 1.2 и 1.3 показаны механические и термические свойства деталей, изготовленных из порошка EOS MaragingSteel MS1.

Таблица 1.1

Технические характеристики

Параметры	Значения
Минимальная рекомендуемая толщина слоя, мкм	40, в разработке 20
Достижимая точность деталей, мкм	
- мелкие детали	~ 40 ÷ 60
- крупные детали	(40 ÷ 60) ± 0,2%
Усадка при температуре 490 ⁰ С в течении 6 часов с воздушным охлаждением, %	0,08
Минимальная толщина стенки (механическая прочность зависит от геометрических показателей и применения), мм	0,3 ÷ 0,4
Шероховатость поверхности	
- после дробеструйной очистки	Ra 4 ÷ 6,5, Rz 20 ÷ 50
- после полировки	Rz до <0,5
Скорость построения	3 ÷ 3,6мм ³ /сек

Таблица 1.2

Механические свойства деталей

Параметры	Значения
Пределная прочность на разрыв, МПа	
- после спекания	1100 ± 100
- после обработки	1950 ± 100
Предел текучести, МПа	
- после спекания	1000 ± 100
- после обработки	1900 ± 100
Относительное удлинение при разрыве, %	
- после спекания	8 ± 3
- после обработки	2 ± 1
Модуль упругости Юнга, ГПа	180 ± 20
Твердость, HRCЭ	
- после спекания	33-37
- после обработки	50-54
Пластичность, Дж	
- после спекания	45 ± 10
- после обработки	11 ± 4

Таблица 1.3

Термические свойства деталей

Параметры	Значения
Коэффициент теплопроводности, Вт /м °С	15 ± 0.8
- после спекания	20 ± 1
- после обработки	
Особенная теплоемкость, Дж/кг	
- после спекания	450 ± 20
- после обработки	450 ± 20
Максимальная температура, °С	400

EOS CobaltChrome MP1 – смешанный мелкодисперсный порошок для установки лазерного спекания EOSINT M 270 [7]. Изделия из кобальтхроммолибденового сверхпрочного сплава характеризуются высокими механическими свойствами (прочность, твердость и пр.), коррозионной и температурной стойкостью. Аналогичные сплавы обычно используются в биомедицине, например, в стоматологии и хирургии, а также в машиностроении для получения изделий, работающих при высоких температурах, например, авиационных двигателей. Химический состав материала EOS CobaltChrome MP1 соответствует композиции UNS R31538 высокоуглеродистого CoCrMo сплава. Изделия отличаются мелкозернистой и изотропной кристаллической структурой. Они полностью отвечают требованиям стандартов ISO 5832-4 и ASTM F75 для литых имплантатов из сплава CoCrMo, а также требованиям стандартов ISO 5832-12 и ASTM F1537 для кованых имплантатов из сплава CoCrMo. Этот материал подходит для изготовления полнофункциональных металлических прототипов, единичных или малыми сериями. Для увеличения скорости получения готового изделия регулируется толщина спекаемого слоя и стратегия построения. Детали, сделанные из материала EOS CobaltChrome MP1, могут подвергаться мехобработке, сварке, микродробеструйной обработке, полированию и покрытию. Неиспользованный порошок используется вторично. Порошковый материал EOS CobaltChrome MP1 применяется для изготовления прототипов или индивидуальных имплантатов, например, позвоночного диска, коленного сустава, бедренной кости, стоматологических имплантатов. Он используется для изготовления деталей с хорошими механическими свойствами и обладающими коррозионной стойкостью, например, деталей турбин и других частей двигателей, режущей части инструментов. Используется также для получения деталей с очень мелкими элементами, обладающими высокой прочностью и/или жесткостью.

Мелкодисперсный порошок из нержавеющей стали [7]. Этот тип стали широко применяется в различных областях медицины, аэрокосмической отрасли и других производствах для изготовления изделий, обладающих высокой прочностью, твердостью и коррозионной стойкостью. Материал хорошо подходит для построения полнофункциональных металлических прототипов в единичном или индивидуальном производстве. Используется при изготовлении оснастки для литья. При определенных режимах спекания и толщине спекаемого слоя 20мкм из него получают полностью сплавленные детали. Для увеличения скорости построения можно изменить толщину слоя до 40мкм и стратегию спекания. Детали, изготовленные из мелкодисперсного порошкового материала EOS StainlessSteel PH1 можно подвергать мехобработке, обработке на электроэрозионном станке, сварке, микродробеструйной обработке, полированию. Применяются для изготовления полнофункциональных прототипов малыми сериями или индивидуально и деталей с высокой коррозионной стойкостью и высокой прочностью.

Мелкодисперсный порошок из легированной нержавеющей стали [7]. Является аналогом стали 17-4 PH по классификации США и европейской 1.4542 и полностью выполняет требования стандарта AMS 5643 по Mn, Mo, Ni, Si, C, Cr и Cu. Этот тип стали характеризуется хорошей коррозионной стойкостью и механическими свойствами, широко применяется в машиностроении. Материал хорошо подходит для изготовления функциональных металлических прототипов в единичном производстве. При определенных режимах спекания и толщине слоя 20мкм получают полностью сплавленные детали. Детали, полученные из мелкодисперсного порошкового материала EOS StainlessSteel GP1, можно подвергать обработке аналогично деталям, полученным из EOS StainlessSteel PH1.

EOS Titanium Ti64 - мелкодисперсный порошок титанового сплава Ti6AlV4 [7]. Этот легкий сплав характеризуется хорошими механическими свойствами и коррозионной стойкостью в сочета-

нии с легким весом и биосовместимостью. Модификация ELI (extra-low interstitial - сверхчистый) содержит очень малое количество включений. Используется для изготовления биомедицинских имплантов и деталей малой массой с хорошими механическими свойствами, например, конструктивные детали и детали двигателей для аэрокосмической отрасли, детали гоночных машин, и т.д.

EOS NickelAlloy IN718 мелкодисперсный порошок никелевого жаропрочного сплава [7]. Его состав соответствует следующим стандартам: UNS N07718, AMS 5662, AMS 5664, WNr 2.4668, DIN NiCr19Fe19NbMo3. Этот сплав характеризуется хорошей эластичностью, растяжением и прочностью на разрыв при температурах до 700°C. Сплав EOS NickelAlloy IN718 обладает большой коррозионной стойкостью в различных средах. Материал используется для изготовления деталей, работающих при высоких температурах. Например, детали газотурбинных двигателей, инструменты и т.п. Материал имеет хорошие криогенные свойства, в связи с чем может применяться в низкотемпературных технологиях. При определенных режимах спекания и толщине слоя 20мкм получают полностью сплавленные детали. С помощью термообработки можно увеличить твердость до 40–47HRCЭ (370–450НВ). Сразу после построения или упрочнения, детали можно обрабатывать на станках, подвергаться электроэрозионной обработке, сварке, микродробеструйной обработке, полированию и покрытию. Применяются для изготовления аэро- и наземных турбинных двигателей, ракетных и космических составляющих, деталей для химической, обрабатывающей, нефтяной, газовой и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности.

EOS Aluminium AlSi10Mg [7] - порошок алюминиевого сплава. Сплав обладает хорошими литейными свойствами и используется для литья деталей с тонкими стенками и сложной геометрией. Сочетание кремния и магния увеличивает прочность и твердость. Детали из этого материала обладают хорошими динамическими свойствами, это позволяет применять их при высоких нагрузках. Стандартные параметры построения позволяют получать полностью сплавленную деталь. Детали, полученные из порошка EOS Aluminium AlSi10Mg можно обрабатывать на станках, подвергать электроэрозионной обработке, сварке, микродробеструйной обработке, полировке, покрытию. Применяется для изготовления полнофункциональных деталей, имеющих хорошую теплопроводность и небольшой вес, например, в мотоспорте.

В Российской Федерации такие порошки производят крупные заводы-производители железных порошков - СМЗ и «Северсталь», а также ряд специализированных научно-производственных предприятий - ООО «Полема», Тулачермет, ЦНИИчермет. [8]

Таким образом, к настоящему времени существует большая номенклатура импортных металлических порошковых материалов для технологии селективного лазерного спекания.

Недостатком для потребителей данных установок является их высокая стоимость и ограниченная номенклатура импортных порошковых материалов к определенной установке. Изменение материала требует затрат на покупку нового оборудования. Для применения отечественных порошковых материалов и создания установок необходимы исследования в данной области.

Литература.

1. Bourell, D. Powder densification map in selective Laser Sintering / D. Bourell // *Advanced Engineering Materials*. – 2002. – V.4. – N 9. – P. 663–669.
2. Cai, K. Solid freeform fabrication of alumina ceramic parts through a lost mould method / K. Cai, D. Guo, Y. Huang, J. Yang // *Journal of the European ceramic society*. – 2003. – V. 23. – P. 921–925.
3. Chatterjee, A. N. An experimental design approach to selective laser sintering of low carbon steel / A. N. Chatterjee, S. Kumar, P. Saha, P. K. Misha, A. R. Choudhuru // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – V.136. – P.151–157.
4. Никитенко, В. М. История машиностроения / В. М. Никитенко, Ю. А. Курганова. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 68 с.
5. Камашев, А. В. Использование лазерного источника для синтеза интерметаллидов в системе Ni-Al / А. В. Камашев, А. С. Панин, А. Л. Петров, И. В. Шишковский // *Письма в журнал технической физики*. – 2001. – Т.27. – вып. 12. – С. 28-33.
6. 3D принтеры ProJet, V-flash. Web: http://www.3d-format.ru/printer_3dsystem.html.
7. Оборудование EOS. Web: <http://www.eosab.ru>.
8. Stereolithography. Web: <http://www.photopolymer.com/stereolithography.htm>

**ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ ДИБОРИДА ТИТАНА:
ТЕРМОДИНАМИКА, ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ, СВОЙСТВА**

К.А. Ефимова, аспирант, Г.В. Галевский, д.т.н., зав.кафедрой, В.В. Руднева, д.т.н., проф.

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843) 74-89-13

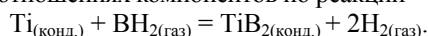
E-mail: kafcmet@sibsiu.ru

Интерес к синтетическим порошковым материалам наноразмерного уровня, одновременно соответствующим критериям «тугоплавкость», «сверхтвердость», «жаростойкость» и «жаропрочность», устойчиво сохраняется в отечественной и зарубежной технологической практике уже более 40 лет. Анализ проводимых в России и за рубежом работ, показывает, что среди наиболее перспективных направлений ведущее место занимает получение материалов, формируемых на основе нанопорошков высокотемпературных сверхтвердых боридов, среди которых лидирующие позиции занимает диборид титана TiB_2 . Практический интерес к этому соединению особенно усилился в последнее 10-летие в связи с широким применением его в составе паст и керамических изделий для эффективной защиты от разрушения подин алюминиевых электролизеров [1]. Освоенная в Сибирском отделении РАН в 80-х годах 20 столетия технология плазменного синтеза диборида титана основана на карботермическом восстановлении диоксида титана в газовой фазе, содержащей бороводород, и реализуется с использованием трехструйного прямоточного плазменного реактора мощностью до 30 кВт и азота в качестве плазмообразующего газа. Технология экологически безопасна и обеспечивает получение диборида титана, близкого по составу к стехиометрическому, в виде нанопорошков с размером частиц 50-70 нм. Наряду с достоинствами в данной технологии имеются такие недостатки, как техническая и экономическая нецелесообразность использования в качестве восстановителя пропан – бутановой смеси, требующей для переработки сложной по составу и генерации азотно – аммиачно – водородной плазмы, а также лабораторный уровень реализации.

Целью работы является создание научных и технологических основ плазменного синтеза диборида титана и его физико – химическая аттестация.

Экспериментальному исследованию предшествовало компьютерное моделирование высокотемпературных химических взаимодействий в боридообразующей системе и теплообмена потоков титан – борсодержащего сырья и газа – теплоносителя. Эффективность такого подхода к оптимизации процессов плазменного синтеза подтверждена ранее в работах [2-7].

Для прогнозирования оптимальных параметров получения диборида титана, определения равновесных показателей процесса и оценки вклада в процессы боридообразования газофазных реакций исследованы системы $B - H - N$, $Ti - O - C - B - H - N$. В системе $B - H - N$ имеет место «газификация» бора, усиливающаяся с разбавлением её водородом. Газификация бора обусловлена высокой термодинамической стабильностью в области температур 2650 – 3250 К бороводорода состава BH_2 . При соотношении $B:H = 1:6$ степень превращения бора в BH_2 достигает 1. Конденсация бора из газовой фазы термодинамически возможна при температуре ниже 2650 К. Квазиравновесные составы системы характеризуются значительным расширением температурной области устойчивости бороводорода BH_2 , соответствующей 2150 – 3250 К. В системе $Ti - O - C - B - H - N$ диборид титана образуется при температуре 3200 – 2450 К при всех учитываемых в расчетах соотношениях компонентов по реакции



Такой вариант борирования расплава газообразным борсодержащим соединением позволяет прогнозировать возможность достижения высокого выхода диборида титана в реальных условиях синтеза.

Для прогнозирования характеристик титан – борсодержащего сырья и оценки гидродинамических и энергетических режимов его эффективной переработки осуществлено многовариантное модельно - математическое исследование движения ансамбля частиц в потоке плазмы. По его результатам установлено, что степень испарения сырья зависит от начальной температуры плазменного потока, крупности сырья и его массовой расходной концентрации. Рабочие параметры реактора обеспечивают полное испарение частиц диборида титана крупностью до 5 мкм, бора до 3 мкм при массовой расходной концентрации 0.12 и 0.071 кг/кг, соответственно.

Экспериментальные исследования проводились в трехструйном прямоточном реакторе мощностью 150 кВт, футерованным изнутри цилиндрическими вставками из диоксида циркония с толщиной стенки 0,005м, формирующими канал реактора диаметром 0,054 м. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и закаливающего газа использовался технический азот (ГОСТ 9293 –

74, изм.) с содержанием кислорода до 1% об., восстановителя – метан (природный газ) (примерный состав, % об.: метан – 93.6; этан – 3.0; пропан – 2.18; бутан – 1.18), добавок – водород (ГОСТ 3022 – 80, изм.) с содержанием H₂ не менее 99.8% об. При выборе титан – борсодержащего сырья предпочтения отданы наиболее доступным его видам: диоксиду титана марки Р-1 и бору аморфному марки В – 99, поставляемых в виде порошков крупностью – 1 мкм. Исследования проводились с привлечением метода планируемого эксперимента. Реализована полуреплика полного факторного эксперимента 2⁵⁻¹. Обработка результатов проводилась по схеме с равномерным дублированием опытов. Для исследуемого технологического варианта получена математическая модель, описывающая зависимость содержания диборида титана в продуктах синтеза от основных факторов:

$$[\text{TiB}_2] = 4.59 + 0.0156 \cdot T_0 + 0.00213 \cdot T_{\text{зак}} - 0.0564 \cdot \{\text{CH}_4\} - 0.214 \cdot [\text{B}] + 0.0968 \cdot \{\text{H}_2\},$$

где T_0 – начальная температура плазменного потока, (5000 – 5400) К;

$T_{\text{зак}}$ – температура закалки продуктов синтеза, (2000 – 2800) К;

$\{\text{CH}_4\}$ – количество восстановителя от стехиометрически необходимого для восстановления TiO₂ до Ti, (100- 125) %;

$[\text{B}]$ – содержание бора в шихте от стехиометрически необходимого для образования TiB₂, (100- 125) %;

$\{\text{H}_2\}$ – концентрация водорода в плазмообразующем газе, (0- 5)% об.

Содержание в продуктах синтеза диборида титана является функцией пяти факторов (начальной температуры плазменного потока, количества восстановителя, содержания бора в шихте, концентрации водорода в плазмообразующем газе, температуры закалки). Ранжирование факторов дает следующий ряд:

$$T_0 > \{\text{CH}_4\} > [\text{B}] > \{\text{H}_2\} > T_{\text{зак}}.$$

Диборид титана представляет собой порошок серого цвета с удельной поверхностью 45000 – 48000 м²/кг, содержащий, % масс.: TiB₂ – 91.57; C_{своб.} – 0.92; B_{своб.} – 0.91; Ti₃O₅ – 6. 60. Порошок представлен агрегатами шаровидной формы размером от 200 до 700 нм, образованными сообществом глобулярных частиц размерного диапазона от 20 до 80 нм. Форма частиц диборида титана свидетельствует об образовании их по механизму пар – расплав – кристалл; предположительно при взаимодействии металлического аэрозоля с бороводородами.

Литература.

1. Галевский Г.В. *Металлургия алюминия. Технология. Электроснабжение. Автоматизация.* / Г.В. Галевский [и др.] – М: Флинта: Наука. 2008 – 528 с.
2. Ноздрин И.В. Исследование характеристик реактора для плазмометаллургического производства тугоплавких боридов и карбидов / И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. - №8. – С. 27- 32.
3. Ноздрин И.В. Термодинамический анализ процессов плазменного синтеза карбида хрома / И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. - №10. – С. 3 - 7.
4. Ноздрин И.В. Модельно – математическое исследование условий эффективной переработки хромсодержащего сырья в плазменном реакторе / И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2012. - №2. – С. 13 - 18.
5. Ноздрин И.В. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока / И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. - №10. – С. 12 - 17.
6. Ноздрин И.В. Плазменный синтез и физико – химическая аттестация нанокарбида хрома / И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, В.В. Руднева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2012. – №12. – С. 3 – 8.
7. Ширяева Л.С. Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Вестник горно – металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. трудов // СибГИУ. – Новокузнецк, 2012. Вып. 29. - С. 94 – 101.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО БАРИЙСТРОНЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

М.А. Платонов, к.т.н., доц., И.Д. Рожихина, д.т.н., проф.,
В.И. Дмитриенко*, к.т.н., доц., А.С. Шарафутдинова, студ. гр.10В10
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652000, г. Юрга ул. Ленинградская, д.26, Тел. (8-384-51) 6-22-48
E-mail: maxrauber@mail.ru*

**Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, 8(3843) 74-86-14,
E-mail: kafamsf@sibsiu.ru*

Одним из главных условий развития технологий производства металла является применение относительно дешевых материалов для модифицирования, которые позволяют целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава и соответственно свойствами металлопродукции. Одним из таких перспективных материалов являются барийстронцийсодержащие карбонатные руды, месторождение которых разрабатывается на северо-востоке Иркутской области в России. Использование их для модифицирующей обработки стали позволит получать металлопродукцию с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что является весьма актуальной задачей. Комплексные карбонатные руды, содержащие барий и стронций, представлены барийстронциевым модификатором.

Результаты рентгенофазового анализа при $T = 293 \text{ K}$ показали, что основными соединениями входящие в состав барийстронциевого модификатора являются баритокальцит $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$, кальцит CaCO_3 , кальциостронцианит $\text{CaSr}(\text{CO}_3)_2$, доломит MgCO_3 и сидерит FeCO_3 .

По результатам дифференциально-термического анализа барийстронциевого модификатора выяснили, что при нагреве происходит: удаление влаги, фазовые превращения в примесях, диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Поэтому для процессов обработки стали представляет интерес изучение поведения именно оксидных соединений бария и стронция. На разных этапах модифицирования стали в качестве восстановителей могут рассматриваться алюминий, кремний и углерод.

При реализации термодинамического моделирования использовали программный комплекс «Терра»[2], позволяющий на основе принципа максимума энтропии находить равновесный состав многокомпонентной, гетерогенной термодинамической системы для высокотемпературных условий.

Путем решения модельных задач были определены условия восстановления бария и стронция из многокомпонентных оксидных систем, которые состоят из совокупности элементов Ba-Sr-C-O-Si-Al , представленной набором веществ SrO-BaO-C-Si-Al . Исходный состав системы варьировался заданием количества восстановителей Al, Si и C от 0 до 1 килограмма. Для определения влияния температуры использовали температурный интервал 1873 – 2073 K.

Все вещества, которые могут образовываться в результате численного моделирования при заданном элементном составе смеси для температур 1873 – 2073 K по значению величины концентрации в конечном состоянии делили на значимые и незначимые с порогом значимости 10^{-4} моль/кг смеси. В качестве значимых оказались конденсированная фаза, состоящая из атомов и молекул: Ba, C, Al, Si, Sr, BaO, SrO, SiO_2 , BaSiO_3 , SrSiO_3 , BaAl_2O_4 , SrAl_2O_4 .

Восстановление углеродом.

Результаты расчетов равновесных составов в системах Ba-O-C и Sr-O-C при температуре 1873 – 2073 K в пределах изменения $C = 0 \div 1 \text{ кг}$ представлены на рис. 1 и рис. 2. В результате проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что заметное восстановление бария углеродом из оксидов начинается при температурах более 2000 K, что реализуется в специальных электротермических процессах.

В отличие от бария, стронций практически не восстанавливается углеродом в рассматриваемом интервале температур и расходе углерода.

Восстановление кремнием.

При использовании в качестве восстановителя кремния восстановление бария протекает пропорционально количеству восстановителя до значений 0,06 кг (рис. 3). При этом восстанавливается около 60 % бария. При дальнейшем увеличении количества восстановителя степень восстановления бария не изменяется. При взаимодействии BaO и Si кроме бария образуется и BaSiO_3 , содержание которого, также как и бария, увеличивается при увеличении кремния до 0,06 кг и далее не изменяет-

ся. Т.е. при восстановлении бария из оксида кремнием около 30 % оксида переходит в силикат бария ($BaSiO_3$). Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления бария кремнием, особенно вблизи стехиометрического соотношения.

Иные закономерности наблюдаются при восстановлении стронция из оксида кремнием (рис.4). Количество восстановленного стронция медленно растет с ростом кремния во всем заданном диапазоне расхода восстановителя, причем стронций восстанавливается в меньшей степени, чем барий. Даже при соотношении оксида стронция и кремния 1:1 количество восстановленного стронция не превышает 15 %. Одновременно с восстановлением стронция оксид стронция взаимодействует с образующимся кремнеземом с образованием силиката стронция $SrSiO_3$. Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления стронция кремнием.

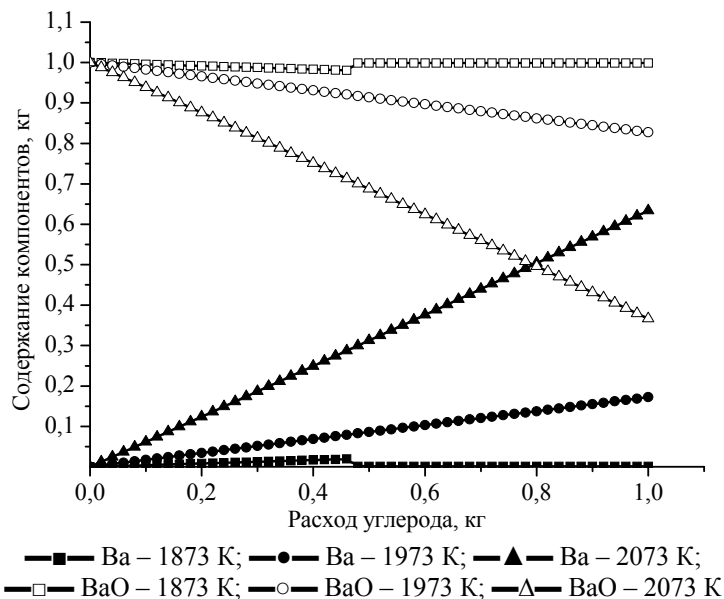


Рис. 1. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ba - O - C от расхода углерода при температурах 1873, 1973 и 2073 К

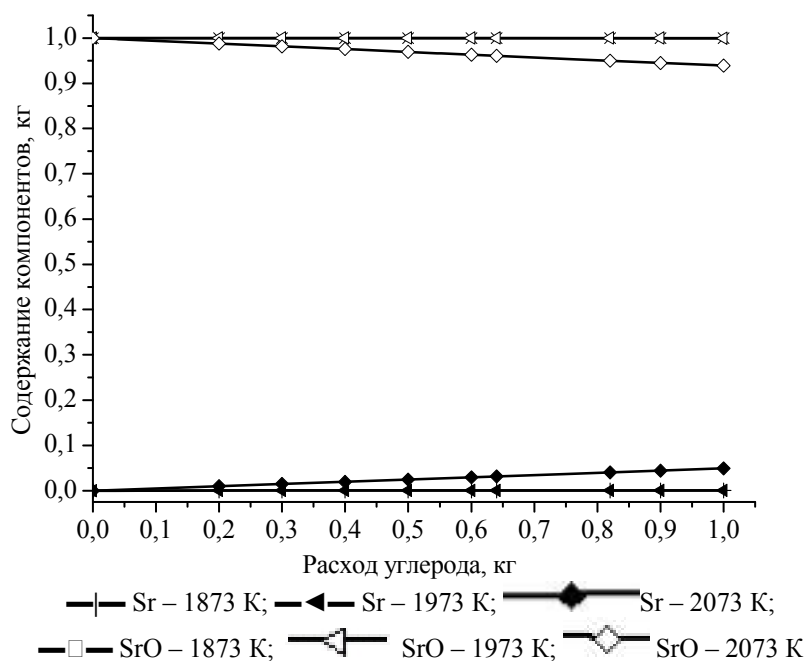


Рис. 2. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе Sr - O - C от расхода углерода при температурах 1873, 1973 и 2073 К

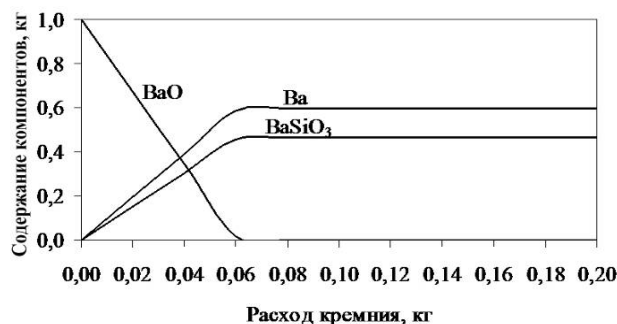


Рис.3. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ba - O - Si от расхода кремния при температурах 1873 – 2073 К

Восстановление алюминием

Более высокая степень восстановления бария и стронция, в сравнении с кремнием, наблюдается при использовании алюминия (рис.5, рис.6). Количество бария линейно возрастает, а количество BaO линейно снижается до нуля в интервале присадок алюминия от 0 до 0,08 кг. Степень восстановления бария составляет около 70 %. Одновременно с ростом бария растет и $BaAl_2O_4$ (до 0,42 кг). Сходная закономерность наблюдается при восстановлении стронция. Однако степень восстановления стронция составляет только 40–50 %.

Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления бария и стронция алюминием.

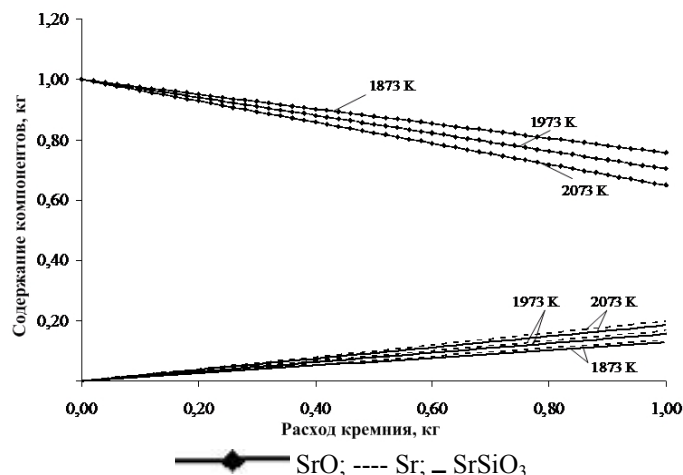


Рис. 4. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе SrO-Si от расхода кремния при температурах 1873, 1973 и 2073 К

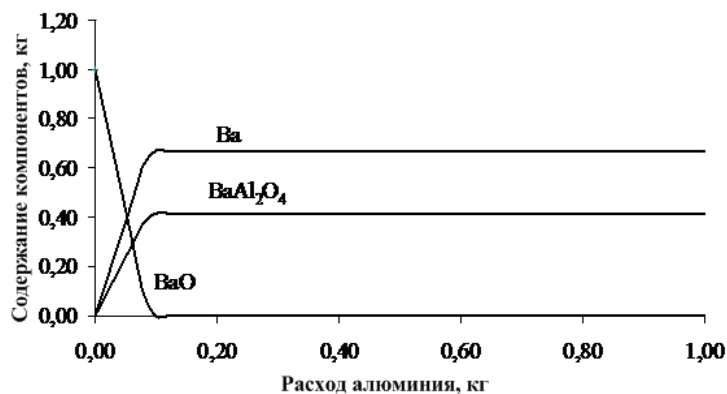


Рис.5. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе BaO-Al от расхода алюминия при температурах 1873 – 2073 К

Восстановление кремнием и алюминием

Для оценки варианта совместного восстановления кремнием и алюминием провели расчет для случая восстановления 1 кг BaO 0,2 кг Si с последующими добавками алюминия. Совместное восстановление оксида стронция кремнием и алюминием не рассматривали т.к. кремний практически не восстанавливает стронций. Данные расчета представлены на рис.7. Добавка алюминия приводит к разрушению силикатов бария и образованию $BaAl_2O_4$, а также увеличению содержания восстановленного бария в системе Ba-O-Si-Al. Т.е. при совместном использовании кремния и алюминия основным восстановителем является алюминий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в качестве восстановителя при использовании оксидных барий- и стронцийсодержащих материалов для обработки сталей необходимо использовать алюминий. Естественно, что для целенаправленного применения алюминия необходимо предварительное тщательное раскисления металла и шлака для снижения общей окисленности системы металл-шлак.

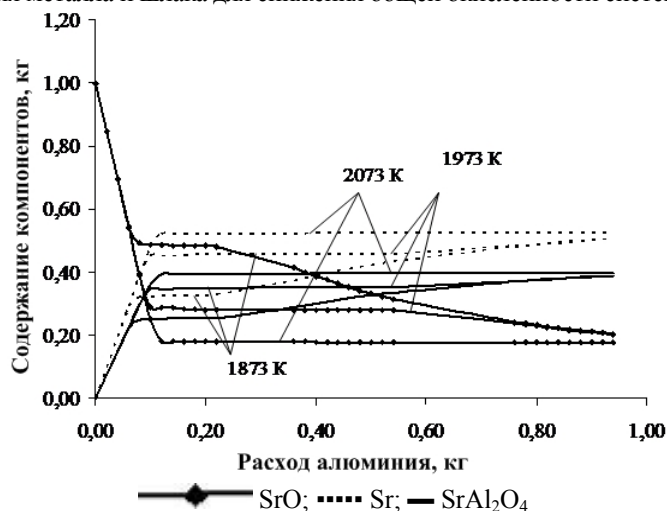


Рис. 6. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе SrO-Al от расхода алюминия при температурах 1873, 1973 и 2073 К

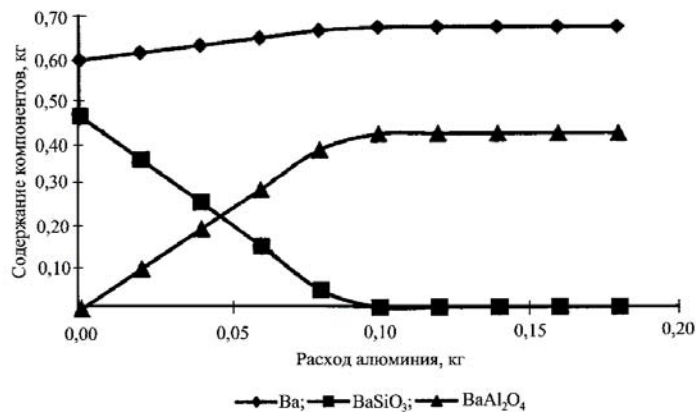


Рис. 7. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ba - O - Si - Al от расхода алюминия при температуре 1873 К

По результатам термодинамического моделирования и проведенных экспериментальных исследований была разработана технология модифицирования стали барийстронциевым модификатором. Промышленные исследования технологии модифицирования стали марок 35ХГСЛ барийстронциевым модификатором осуществлялись в индукционной печи.

Для модифицирования стали марки 35ХГСЛ в индукционной печи использовали брикеты различных составов представленных в таблице. Использование брикетов, содержащих алюминий и ферросилиций в виде порошка, ускоряет процесс, уменьшается угар и повышается коэффициент использования алюминия до 95 %, а кремния до 85 – 90 %.

Таблица

Материал	Состав брикетов			
	Содержание, %			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Порошок барийстронциевого модификатора	57	55	54	53
Пыль ферросилиция ФС75	24	29	30,5	32
Порошок алюминия	14	12	10	8
Плавиновый шпат	2	2	2,5	3
Жидкое стекло (связующее)	3	2	3	4

Схема процесса обработки стали брикетами приведена на рисунке 8.

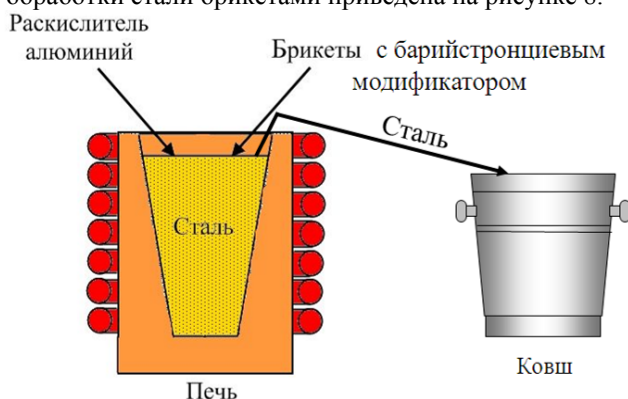


Рис. 8. Технологическая схема обработки стали брикетами в индукционной печи

Результаты проведенных механических испытаний показали повышение на 15 – 20 % служебных свойств стали, после обработки её барийстронциевым модификатором в индукционной печи, характеризуемой значениями пределов текучести, прочности и ударной вязкости при положительных температурах (рис. 9).

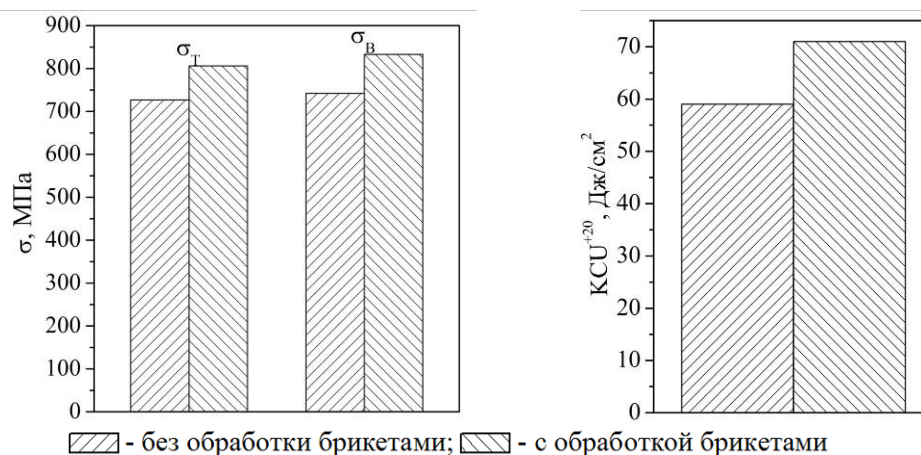


Рис. 9. Механические свойства и ударная вязкость стали марки 35ХГСЛ после закалки (1143 – 1153 К) и отпуска (863 – 923 К)

Литература.

1. Черняк С.С. Высокомарганцовистая сталь в драгостроении / С.С. Черняк, Б.М. Ромен. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1996. – 377 с.
2. Трусов Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III Международный симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы: Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.

РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ В ПРОГРАММЕ LTSPICEIV

*М.А. Крампит, ассистент, Е.А. Зернин, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: krampitm@tpu.ru*

В среде разработчиков и исследователей в различных направлениях науки и техники широко применяются средства моделирования, способные отражать и логику с ошибками и представлять аналоговые и цифровые устройства, а также участвовать в безошибочном проектировании крупных и сложных систем. Широко внедряются эффективные методы автоматизированного моделирования [1].

Программы-имитаторы стали незаменимым инструментом в работе профессиональных электронщиков. В настоящее время существует целый ряд моделирующих программ, и практически все они созданы на основе SPICE, которая была разработана специалистами университета Беркли [2].

SPICE является программой для схемотехнического моделирования с ориентацией на интегральные схемы, впервые выпущенный из университета Калифорнии в Беркли в начале 1970-х годов. До существования SPICE инженеры разработали схемы вручную, возможно, с помощью логарифмической линейки и калькулятора. Прототип был построен с оригинальным дизайном, а его производительность оценивается целей дизайнера.

Разработка многих из схем сегодня было бы невозможно без помощи SPICE. Часто аналоговые схемы содержат сотни или тысячи устройств. Проектирование и анализ включают поиск решений уравнений. Эти уравнения могут быть простые алгебраические формулы или привлекать нелинейных дифференциальных уравнений. Прототипы еще построены, чтобы измерить производительность, но, учитывая затраты работает в сотни тысяч долларов, исполнение должно быть во многом превосходит через компьютерного моделирования до изготовления прототипа начинается [3].

Схемотехническое моделирование разбивается на этапы, выполнение которых направлено на решение сформулированной задачи [4].

Рассмотрим содержание этапов подробнее.

1. Разбиение электрической схемы на функциональные узлы. Проектирование схем, как правило, ведется по функционально-узловому принципу, поэтому и схемотехническое моделирование логично построить таким же образом. При этом электрическая схема каждого функционального узла дополняется источниками входных сигналов и сопротивлением нагрузки. Здесь необходимо помнить, что такой подход к моделированию автоматически приводит к принятию допущения об однонаправленности распространения электрических сигналов в схеме [4].

В практическом смысле это означает, что функциональные узлы схемы не влияют на работу друг друга.

2. Подготовка исходных данных для расчета. Подготовка исходных данных для расчета производится в соответствии с документацией на систему схемотехнического моделирования.

Как правило, исходные данные для расчета делятся на два раздела:

-описательная информация об элементах и их межсоединениях в электрической схеме;

-задание на расчет, включающее вид расчета и описывающее его параметры.

К основным видам расчета относятся:

-расчет в статическом режиме (DC), т.е. определение напряжений, токов, мощностей в момент, когда все переходные процессы в системе установились;

-расчет переходных процессов (Transient), т.е. определение напряжений, токов, мощностей как функций времени в диапазоне от $t=0$ до $t=T_{\text{кон}}$;

-расчет частотных (AC), т.е. определение АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ в диапазоне от $f=\text{нач}$ до $f=\text{кон}$.

При этом схема моделируется в режиме малого сигнала [4].

Большую роль при выполнении этого этапа играет правильная постановка задачи расчета, которая отражает компромисс между желанием разработчика и возможностями системы схемотехнического моделирования.

3. Расчет электрических характеристик функционального узла. Этот этап полностью выполняется ЭВМ, контролируется оператором.

В основе выполнения этого этапа лежит математическая топологическая модель электрической схемы, сформированная на основе моделей элементов и схемы их соединения. На основе топо-

логической модели узла строится его аналитическая модель, которая представляет собой систему уравнений. Существует два основных метода перехода от топологической модели схемы к ее аналитической модели – это метод переменных состояния и метод узловых потенциалов. Основные достоинства и недостатки этих методов подробно рассмотрены в литературе. Мы же лишь констатируем, что в большинстве используемых на сегодняшний день подсистемах схемотехнического моделирования, в том числе в системе Spice, применяется метод узловых потенциалов и его модификации [4].

В процессе выполнения этого этапа возможно получение сообщений об ошибках, которые делятся на две большие группы: синтаксические ошибки и логические ошибки.

К синтаксическим относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения правил языка описания схемы или задания на расчет. К логическим относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения логики описания электрической схемы, например неправильная нумерация узлов электрической схемы.

В результате выполнения этого этапа пользователь получает расчетные значения характеристик в виде таблиц и графиков.

4. Анализ полученных результатов расчета электрических характеристик.

Анализ полученных результатов расчета проводится по двум позициям:

1. Качественная оценка адекватности математической модели схемы проектируемой схеме.
2. Количественная оценка полученных результатов расчета и соответствие их требованиям технического задания.

В результате анализа по первой позиции разработчик должен выяснить, правильно ли математическая модель схемы отражает его представления о проектируемой схеме. И если неправильно, то разобраться, почему это произошло. Основные причины неправильного поведения математической модели, расположенные по убыванию частоты их появления, следующие:

- наличие логических ошибок в описании моделируемой схемы;
- неправильное применение моделей компонентов электрической схемы;
- математическое обеспечение системы не пригодно для моделирования рассматриваемой схемы.

В результате анализа по второй позиции, необходимо полученные выходные характеристики проверить на соответствие требованиям, регламентированным в техническом задании на проектируемую схему и в технических условиях на применяемую элементную базу. В случае неудовлетворения хотя бы одного из этих требований, необходимо скорректировать электрическую схему (изменить значения параметров ее элементов или сделать структурные изменения схемы) и провести повторное моделирование [4].

Конструирование, изготовление и наладка источников питания имеет свои специфические особенности. Например, авария источника и выход из строя его элементов происходит за тысячные доли секунды, что практически не дает шанса рассмотреть ее причины и последовательность.

В этом случае многих проблем можно избежать, если предварительно смоделировать работу схемы источника. Моделирование позволяет:

- проверять работу элементов источника питания в критических режимах;
- производить замеры, которые обычно проблематичны или даже невозможны на реальном устройстве;

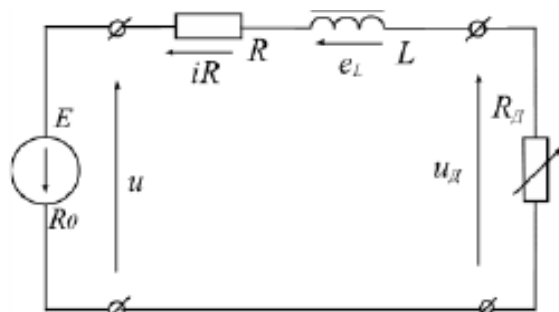


Рис. 1. Схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга». R_0 - внутреннее сопротивление генератора; R - резистивное сопротивление сварочного контура, включающее и сопротивление вылета электрода; L - индуктивность сварочного контура [7]

-уточнять и оптимизировать результаты предварительных расчетов, а порой экспериментально подбирать параметры элементов и режимы работы схемы [5].

Но при моделировании схем сварочных источников питания возникает ряд задач. Первая задача – моделирование поведения дуги. Для решения этой задачи используют схемы замещения дуги.

Сделано предположение, что сварка производится плавящимся электродом, что дуга горит стационарной замыканий дугового промежутка каплей не происходит. На рис. 1 приведена электрическая схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга». Источник питания не имеет корректи-

рующих обратных связей. Дуга замещена нелинейным резистивным сопротивлением R_d [6].

Усложненная схема, это добавление к сопротивлению катушки индуктивности, которая вносит инерционные свойства (рис. 2).

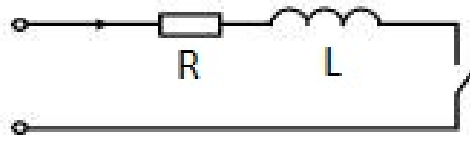


Рис. 2. Схема замещения дуги сопротивлением и катушкой индуктивности

Также, есть схема замещения дуги по способу С.И. Тельного, при котором дуга представляется в виде противоэдс, не оказывающим воздействия на общую цепь (рис.3).

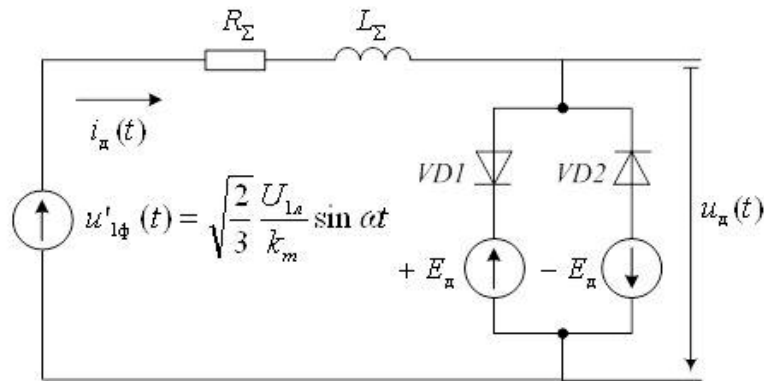


Рис. 3. Схема замещения дуги по способу С.И. Тельного

Вторая задача – это нелинейность поведения различных компонентов схемы, к примеру нелинейность поведения в работе трансформатора (рис.4 а). Но программа LTSpice позволяет задать нелинейную индуктивность и более реалистично смоделировать поведение источника питания (рис.4 б).

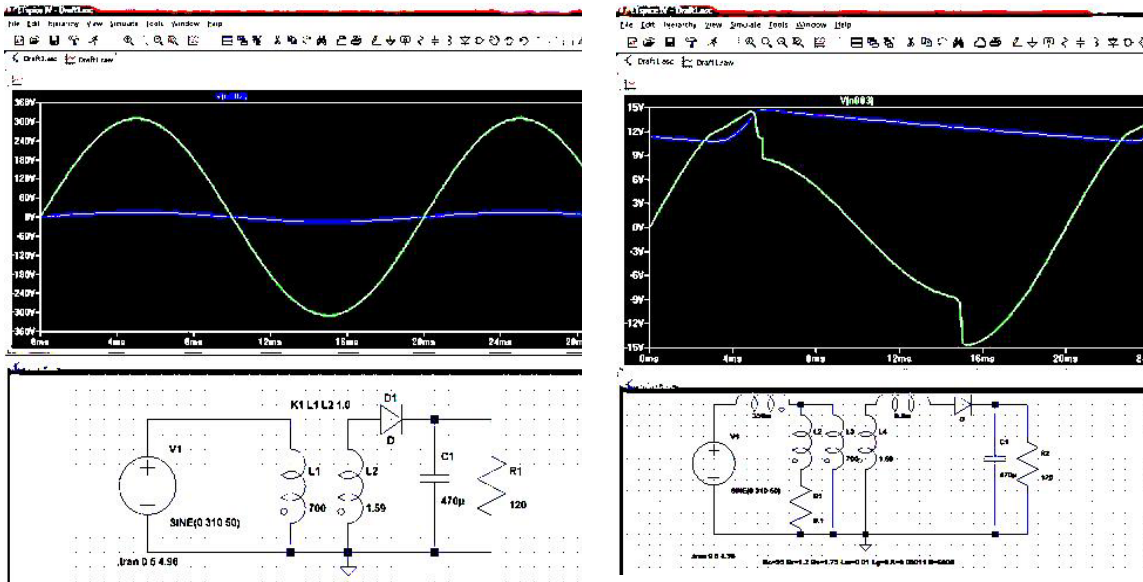


Рис. 4. Моделирование маломощного источника постоянного тока с линейным (а) и нелинейным трансформатором (б)

Программы схемотехнического моделирования могут использоваться при расчете источников питания для импульсно дуговой сварки, которые все больше находят применения в производстве

сварных конструкций. Импульсно-дуговая сварка позволяет управлять переносом электродного металла во всех пространственных положениях [8], сваривать толстолистовые конструкции в узкую разделку [9,10]. При этом возрастают механические свойства сварных соединений при эксплуатации их при низких температурах при неизменном качестве [11].

При проектировании источников питания для импульсно-дуговой сварки имеется ряд особенностей. Источники питания для импульсно-дуговой сварки должны обеспечивать как стабильность самого процесса сварки [12], так формирование шва требуемых параметров [13].

В программе LTSpiceIV была построена схема устройства для импульсно-дуговой сварки на базе модулятора, использующего вылет электродной проволоки для обеспечения тока паузы [14]. Были рассчитаны необходимые компоненты для обеспечения требуемой формы и длительности импульса (рис.5).

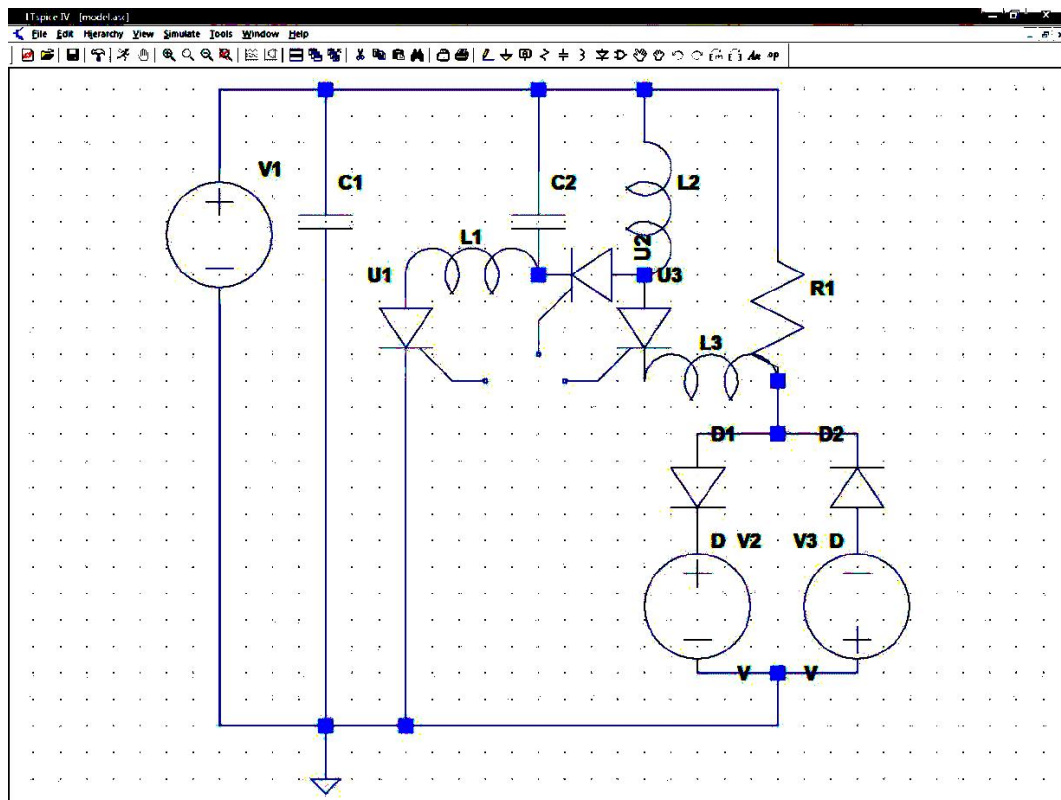


Рис. 5. Схема устройства на базе модулятора, использующая вылет электродной проволоки для обеспечения тока паузы

В дальнейшем сам процесс был смоделирован в программе MathCAD, определены рациональные режимы и рассчитана энергоэффективность предложенного устройства [15]. Устройство было создано и апробировано в лаборатории ЮТИ ТПУ [16].

Применение программ, симулирующих работу электронных схем, позволяет без больших материальных и временных затрат моделировать источники питания и другие устройства для сварки, обеспечивающие необходимые параметры процесса.

Литература.

1. Никонова Г.В. Основные аспекты моделирования при изучении базовых разделов электроники // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 1 – стр. 148-149 URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4577 (дата обращения: 22.09.2014)
2. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 336 с.
3. <http://pro-spo.ru/system/3077--spice>

4. Тумковский С.Р. Сервер Spice – первое знакомство: Учебное пособие – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2001. – 42 с.
5. Володин В.Я. Создаем современные сварочные аппараты – М.: ДМК Пресс, 2011 – 352 с.
6. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. // Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар– 2011 - 256 с.: ил.].
7. Богатырев Н.И., Креймер А.С., Баракин Н.С. Асинхронные генераторы для питания сварочной дуги // Научный журнал КубГАУ - №73(09) – 2011 -с. 1-28
8. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit. Controlling the droplet transfer process in CO₂ welding with a long arc // Welding International –2008 - №22 - p.534-536
9. A.G. Krampit. Welding with double modulation of the main welding parameters // Welding International. – 2012. – №26. – 867-869.
10. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit, S.A.Knyaz'kov. Improving the process of narrow-gap pulsed –arc CO₂// Welding International – 2004 - №18 – p.486-488
11. A.G. Krampit, N. Yu. Krampit. Mechanical properties of welded joints in welding with continuous and pulsed arcs // Welding International - Volume 25, Issue 8 - August 2011 – p.626-628
12. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Стабилизация процесса сварки в щелевую разделку с импульсным питанием дуги. // Сварка и диагностика, 2012, №5, с.23-26.
13. Крампит А. Г. , Крампит Н. Ю. Влияние параметров импульсов сварочного тока на формирование сварного шва // Сварка и диагностика. - 2013 - №. 2. - С. 11-13.
14. Крампит А. Г. , Зернин Е. А. , Крампит М. А. Разработка устройства и исследование процесса импульсно-дуговой сварки с нагревом электрода в паузе [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 3. - С. 1. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13398>
15. A.G. Krampit, M.A. Krampit. Determination of a Wire Heat Temperature under a Pulse-Arc Welding Condition by means of a Calculation and Graphic Method // Applied Mechanics and Materials – 2014 - 682 - p.392 – 396
16. Крампит Н. Ю. , Крампит М. А. Импульсно-дуговая сварка с подогревом вылета электрода в паузе // Сварочное производство. - 2014 - №. 3. - С. 8-10

3D ПРИНТЕРЫ В МЕТАЛЛУРГИИ

Е.В. Бабакова, аспирант, Е.А. Ибрагимов, ст. преподаватель,

А.А. Сапрыкин, к.т.н., И.В. Дрелих, студент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: egor83@list.ru

3D-принтер - устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. Технологии, применяемые для создания слоев:

- Лазерная:
 1. *Лазерная стереолитография* — ультрафиолетовый лазер постепенно, пиксель за пикселем, засвечивает жидкий фотополимер, либо фотополимер засвечивается ультрафиолетовой лампой через фотошаблон, меняющийся с новым слоем. При этом жидкий полимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик.
 2. *Лазерное сплавление* — при этом лазер сплавляет порошок из металла или пластика, слой за слоем, в контур будущей детали.
 3. *Ламинирование* — деталь создаётся из большого количества слоёв рабочего материала, которые постепенно накладываются друг на друга и склеиваются, при этом лазер вырезает в каждом контуре сечения будущей детали.
- Струйная:
 1. *Склеивание или спекание порошкообразного материала* — похоже на лазерное спекание, только порошковая основа (подчас на основе измельченной бумаги или целлюлозы)

склеивается жидким (иногда клеящим) веществом, поступающим из струйной головки. При этом можно воспроизвести окраску детали, используя вещества различных цветов. Существуют образцы 3D-принтеров, использующих головки струйных принтеров.

2. *Биопринтеры* — печать 3D-структуры будущего объекта (органа для пересадки) производится стволовыми клетками. Далее деление, рост и модификации клеток обеспечивают окончательное формирование объекта.

На кафедре "Металлургия Черных Металлов" используют два типа 3D принтеров - это Dimension SST 1200ES и 3D Picaso Builder.

3D принтер Picaso Builder- первый российский доступный 3D принтер для работы в офисе, дома, в школе и творческих мастерских. Это полностью российская разработка - и поэтому главное преимущество: наличие полноценного сервиса и поддержки.

Принцип работы Picaso 3D Builder очень прост. Из любого графического редактора нужно импортировать трехмерную модель подходящих размеров в формат STL. Затем файл отправляется и обрабатывается с помощью специального ПО, которая формирует управляющая программа для принтера. После запуска печати принтер нагревает полимерную нить, которая подается на платформу при помощи экструдера. После того, как печать завершена, модель сразу можно снимать с платформы и использовать.

Устройство 3D принтер Picaso Builder: - сопло и система активного охлаждения; - печатающая головка и устройство подачи пластика; - блок электроники; - подвижная платформа.

Принтер использует технологию термопластической экструзии. К основным преимуществам Picaso 3D Builder относится отсутствие ручной калибровки, уникальная конструкция подвижной платформы и механизма подачи. Для работы принтера используется специальная программа Polygon, в которую загружаются модели в формате файлов STL. Программа сделана с учетом всех особенностей эксплуатации, при этом она проста, естественно на русском языке и для её усвоения не требуется много времени.

Все подвижные элементы экструдера закрыты корпусом печатающей головки. Это несомненный плюс, поскольку пыль не попадает на шестеренчатые пары.

3D-принтер Пикасо работает с двумя марками пластика – ABS и PLA. Во время печати материал подается через сопло в 300 или 150 микрон. Создатели этого устройства учли недостатки других принтеров и исправили их. Например, платформа, на которой производится печать, прогревается равномерно. Это не позволяет модели разрушаться при создании. Принтер сконструирован таким образом, что не требует специальной калибровки. Механизм подачи имеет специальную защиту от забивания. Платформа чисто физически не может деформироваться, так как изготовлена из термостойкого материала имеет жесткую конструкцию.

Dimension SST 1200es - американский крупнейший 3D-принтер в семействе Dimension. Благодаря большому объему рабочей камеры он способен создать множество вариаций функциональных моделей.

Принцип работы данного устройства схож с Picaso 3D Builder.

Основным отличием Dimension SST 1200es от Picaso Builder в том, что он работает с использованием двух технологий. FDM (Fused Deposition Modeling) это создание объекта из термопластика, которая расплавляется и послойно наносится по данным трехмерной модели. SST (SolubleSupportTechnology) это использование растворимого пластика для формирования временных элементов поддержки. Такое сочетание технологий позволяет создавать из прочного термопластика прототипы очень сложной формы.

Технологичность и простота конструкции рабочей камеры принтера позволяет наблюдать за процессом 3д-печати. Готовый прототип без особого труда извлекается вместе с модельным столиком.

Модели, прототипы и конечные изделия создаются из материала ABSPlus. Это синтетический термопластичный полимер, обладающий повышенной прочностью и стабильностью физических свойств. Термопластик ABSPlus имеет 9 цветов: белый, слоновая кость, черный, красный, оливковый, зеленый, нектарин, флуоресцентный желтый, синий и серый. Пластик устойчив к воздействию ультрафиолета, поэтому цвета остаются яркими долгое время.

Для производства прототипов со сложной геометрией в процессе трехмерной печати формируются дополнительные элементы, которые поддерживают части желаемого прототипа. Такие элементы называются поддержкой и выполняются из материала, который удаляется после завершения печати. В системе Dimension SST 1200es применяется пластик SR-30, удаление которого осуществляется методом растворения в очищающем растворе.

Отличное качество мелких деталей обеспечено толщиной печатного слоя, которая составляет 254 мкм. Для увеличения скорости получения прототипов с простой поверхностью 3д-принтер обла-

дает возможность печатать с толщиной слоя в 330 мкм. В обоих случаях точность воспроизводства реального прототипа и виртуальной модели стабильно высока.

Этот трехмерный принтер очень прост в управлении. Трехмерный STL-файл с виртуальной моделью загружается в программное обеспечение Catalyst EX с помощью которого управляется Dimension. Программа предложит оптимальное размещение прототипа в рабочей камере, сформирует задание для принтера, рассчитает объем материалов для печати и время производства прототипа

На кафедре "Металлургия Черных Металлов" была поставлена задача спроектировать лабораторную печь сопротивления «Таммана».

Принцип работы этих печей основан на том, что при прохождении тока по проводнику в нем выделяется тепло. Печь состоит из: - 2 зажим токовода; - верхний водоохлаждаемый фланец печи; - графитовый нагреватель; - многослойная теплоизоляция; - нижний фланец; - камера для подвода рабочего газа; - опорная стойка.

Часть элементов проектируемой печи было предложено изготовить с помощью новой технологии литья.

В программе SolidWorks были изготовлены 3D модели данных изделий в соответствии с чертежами литейных моделей разработанных инженерами кафедры МЧМ.

Основными требованиями при создании моделей на 3D принтере являлось следующее. Толщина стенки изделия должна быть не более $[S] \leq 1$ мм; процент заполнения объема детали $\leq 5\%$.

Данные модели изготавливались на принтере Dimension, так как он способен обеспечить данные требования к изделиям. Время печати изделий составило 4 часа.

Далее полученные изделия отправили на этап изготовления литейной модели.

Метод литья по выплавляемым моделям.

Чтобы создать выплавляемую модель, нужна форма. Она изготавливается из алюминия. Изготовление формы очень затратно. Затем в форму по специальным каналам закачивается модельный состав. Это может быть парафин, воск, либо стеарин. Модели дают застыть. Затем форму разбирают и вынимают модель, её ещё называют восковой. Затем к ней припаивают литник тоже из модельного состава. Модель окунают в специальную эмульсию для того чтобы нанести песчаную корочку. Затем модель окунают в «кипящий песок» и сушат. Эту операцию повторяют до получения нужной толщины корочки. Далее модель с нанесённой корочкой помещают в ванну с модельным составом, разогретым до 160 градусов Цельсия. Там модель расплавляется и вытекает из корочки в ванну. Этот этап называют вытопкой. После удаления модельного состава из корочки её помещают в печь для прокалики. После этого её помещают в песчаную опоку для того чтобы при заливке металла её не раздавило. Заливают металл. После остывания деталь вынимают из песчаной опоки и раскалывают корочку. Деталь готова.

Метод литья по выжигаемым моделям.

Чтобы создать выжигаемую модель, нужна тоже форма. Её также изготавливают из алюминия. В неё засыпают мелкие шарики пенополистирола. Затем форму с шариками помещают в автоклав, где шарики при высоком давлении, влажности и температуре вспениваются и образуют единую модель. Затем приклеивается литник из пенопласта. После этого модель покрывают огнеупорной краской в несколько слоёв и сушат. Затем модель помещают в контейнер, где засыпают её сухим песком, и начинают откачку воздуха через песок для удаления газов, которые образуются при заливке металла, и заливают металл. При заливке полистирол испаряется («теряется пена»), и модель замещается металлом. При этом металл затвердевает в виде отливки в неподвижном песке, который, облекая модель при засыпке песка (формовке), принял форму зеркального отображения этой отливки. Потом деталь вынимают из песка, дают ей остыть, обрубает литники, и деталь готова.

Но все эти методы очень дорогие из-за формы и сам процесс очень долг. Особенно он не подходит для изготовления штучных и мелкосерийных деталей.

Тогда можно применить способ 3D-печати из пластика. И потом просто выжечь модель. Но на кафедре чёрной металлургии в ЮТИ НИТПУ пошли ещё дальше. Они предложили метод печати модели из пластика на 3D принтере и метод выплавляемой модели объединить. Этот метод решили испытать при изготовлении деталей для печи Таммана. Сначала на 3D принтере напечатали сами модели, без литников и питательной системы. Дальше эти модели окунали в парафин для того чтобы на них образовался тонкий амортизирующий слой. Он нужен для того чтобы при вытопке и выжигании модели компенсировать расширение пластика, и для более лучшего соединения питателей и литника с пластиком. А потом из парафина изготовили литник и питательную систему. К моделям припаяли питательную систему. Далее к литнику припаяли все модели с питательной системой (Рис.1).

После того как все модели припаяны наносят огнеупорную корку. Формирование корки – отлаженная технологическая процедура. Смешанные с эмульсией специальные порошки различной зернистости наносятся на модель в несколько слоёв, каждый слой просушивается (Рис. 2).

Далее вся модель помещается в ванну с нагретым до 160 градусов Цельсия модельным составом и литниковая и питательная система вытапливаются.

Далее вся конструкция на довольно длительное время отправляется в печь, где происходит выгорание материала выжигаемой модели.

Завершающий этап, продувка корки сжатым воздухом — процедура весьма ответственная: оставшиеся в форме обуглившиеся остатки модели могут свести на нет все труды. Конечно, все будет проще, если условия позволяют без риска разрушения или растрескивания корки охладить форму до комнатной температуры с последующим вымыванием остатков материала.



Рис. 1. Литниково-питательная система



Рис. 2. Формирование огнеупорной корки

Далее идёт заливка металла в корку находящуюся в песчаной опоке (Рис. 3). После заливки форма остывает в течение суток, а затем корку раскалывают и на свет извлекается отливка в точности повторяющая очертания выжигаемой модели (Рис.4).



Рис. 3. Корочка перед заливкой



Рис. 4. Готовое изделие

Потом обрубается литниковые и питательные системы. Деталь обрабатывается, шлифуется. Литье по выжигаемо-выплавленным моделям иногда называют литьём с возможностью копирования отпечатков пальцев модельщика. И правда, отливка воспроизвела все мельчайшие детали.

С помощью этого метода легко создавать мелкосерийные и штучные изделия. Поскольку снижаются затраты на изготовление модели. Ускоряется весь процесс. От создания модели до заливки металла. Зольность пластика очень низкая, модель получается более качественная. Также этот метод можно использовать для экспериментальных отливок.

Технология 3D печати является очень перспективной технологией на сегодняшний день. Она позволяет в разы сокращать время и денежные затраты на производство объемных моделей, производство которых вручную не всегда возможно. 3D принтеры имеют огромную область применения: - архитектурные разработки; - инженерные технологические разработки; - медицинские технологии; - области малого бизнеса и обычного использования.

ВЛИЯНИЕ СВАРНОГО ШВА НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

К.В. Кусков, к.т.н., И.М. Ковенский, д.т.н., проф., В.Н. Кусков, д.т.н., проф.

Тюменский государственный нефтегазовый университет

625000, г. Тюмень ул. Володарского, 38, тел. (3452)-46-31-02

E-mail: lisii@bk.ru

При эксплуатации сварных конструкций в условиях переменных нагрузок, появляется необходимость контроля состояния материала и оценки остаточного ресурса, чтобы избежать последствий разрушения. В связи с этим, настоящая работа посвящена изучению сварных соединений, как наиболее вероятных центров разрушения.

В качестве исследуемых сталей были выбраны низколегированные стали 09Г2С, 17Г1С-У и 16Г2АФ, часто встречающихся в производстве сварных конструкций в северном исполнении. Как известно, температурные поля, возникающие при сварке, оказывают значительное влияние на структуру сварного соединения (рисунок 1). При перемещении от основного металла, ближе к шву, заметно изменяется размер зерна, особенно это видно на рисунке 1 б. Твердость (таблица 1) в различных зонах сварного соединения может отличаться на 350-400 МПа. Несомненно, такие различия в структуре и механических свойствах сказываются на циклической прочности материала.

Таблица 1

Микротвердость различных зон сварных соединений

Расстояние от центра шва, мм	Значение микротвердости, МПа		
	для стали 09Г2С	для стали 17Г1С-У	для стали 16Г2АФ
1	2270	2050	2280
2	2315	2050	2320
3	2290	2060	2345
4	2395	2070	2360
5	2490	2070	2465
6	2345	2080	2420
7	2240	2080	2440
8	2230	2090	2440
9	2245	2100	2420
10	2230	2110	2370
11	2225	2120	2560
12	2160	2030	2740
13	2075	1970	2890
14	2040	2170	2520
15	2010	2030	2320
16	1945	2025	2290
17	1910	2020	2280
18	1930	2015	2270
19	1920	1920	2290
20	1930	1900	2315
21	1925	1880	2250
22	1910	1830	2170
23	1920	1840	2160
24	1930	1820	2120
25	1932	1830	2080

Примечание: микротвердость основного металла исходных образцов (не испытанных на усталость) составила 700 МПа для стали 09Г2С, 650 МПа для стали 17Г1С-У и 680 для стали 16Г2АФ.
 - «ступенька» твердости.

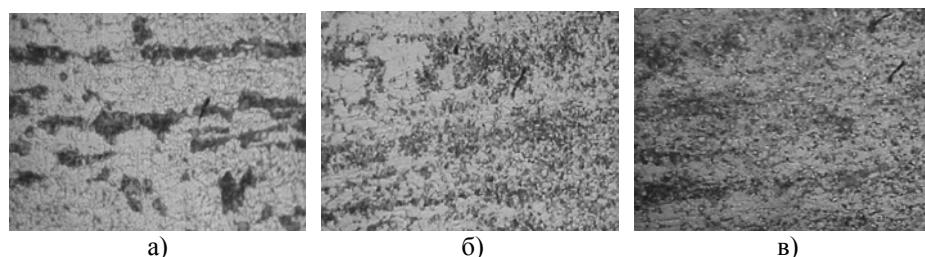


Рис. 1. микроструктура стали 16Г2АФ.

а – основной металл на расстоянии 5 см от сварного соединения;
б – основной металл в зоне термического влияния; в – основной металл сварного шва.

Образцы для испытаний были изготовлены согласно ГОСТ 25.502-79* и имели различную толщину: 8, 12 и 14 мм соответственно. Для сравнения были выбраны образцы как со сварными соединениями (А), так и без сварных соединений (Б). При ширине рабочей части $b=15$ мм минимальная длина образцов для стали 09Г2С составляет 57 мм, 17Г1С-У – 76 мм, 16Г2АФ – 82 мм. Однако, учитывая конструктивные особенности испытательной машины, длина образцов была увеличена до 300 мм. Радиус скругления R во всех случаях был одинаковый и равнялся 30 мм.

Испытания проводили на гидравлической машине типа ЦД20 с пульсатором Пу10 при циклической нагрузке с асимметрией цикла $R=0.8 - 0.9$. Частота циклов была 10 Гц. Нагрузка находилась в диапазоне 60- 80% от предела текучести сталей, размах напряжений цикла составлял – 6-8%. Результаты представлены в таблицах 2 – 4.

Из таблиц видно, что сварные образцы, по сравнению с бесшовными, выдерживают меньшее количество циклов до разрушения. Для стали 09Г2С эта разница десятикратная, что связано с наличием дефектов сварного соединения, причем эти дефекты не являются критическими, согласно ВСН 012-88*.

После обработки данных в программе СТАТИСТИКА 6.1, получены уравнения, связывающие параметры испытания [1]. Уравнения легли в основу методики расчета реального срока эксплуатации сварных конструкций из низколегированных сталей 09Г2С, 17Г1С-У и 16Г2АФ при вероятности разрушения 95%.

Таблица 2

Результаты испытания образцов из стали 09Г2С

№№ серии	Тип образцов	Максимальное напряжение растяжения σ_{max} , МПа	Размах напряжений цикла $A\sigma$, МПа	Количество циклов до разрушения N
1.	А - образцы имеющие сварной шов	330	36	16000
2.		330	27	35000
3.		330	18	125000
4.		330	16	150000
5.		283	23	97000
6.		250	36	50700
7.		250	27	97600
8.		250	18	250300
9.		205	36	57200
10.		205	18	323500
11.		330	36	83000
12.		330	18	348000
13.		250	36	95700
14.		250	18	433200
15.		205	36	126800
16.	Б - без сварного шва	430	46	17300
17.		330	46	64100
18.		330	36	198200
19.		330	27	346000
20.		330	18	497000
21.		250	36	239000
22.		205	36	322900

Таблица 3

Результаты испытания образцов из стали 17Г1С-У

№ серии	Типы образцов	Максимальное напряжение растяжения σ_{\max} , МПа	Размах напряжений цикла A_{σ} , МПа	Количество циклов до разрушения N
1.	Б - со сварным швом	297	44	191400
2.		297	22	442000
3.		360	44	175100
4.		360	33	319400
5.		360	22	423900
6.		393	44	160200
7.		393	22	416400
8.	В - без сварного шва	297	44	345000
9.		297	22	514500
10.		360	44	334900
11.		360	33	421700
12.		360	22	498000
13.		393	44	229300
14.		393	22	467200

Таблица 4

Результаты испытания образцов из стали 16Г2АФ

№ серии	Типы образцов	Максимальное напряжение растяжения σ_{\max} , МПа	Размах напряжений цикла A_{σ} , МПа	Количество циклов до разрушения N
15.	А - образцы имеющие сварной шов	360	36	185150
16.		360	28	278360
17.		360	20	491470
18.		315	36	219510
19.		315	28	329600
20.		315	20	497890
21.		270	36	315250
22.		270	28	400740
23.		270	20	510350
24.		Б - без сварного шва	360	36
25.	360		28	527300
26.	270		36	481480
27.	270		20	1265300
28.	270		20	637800

Определение остаточного ресурса возможно при наличии данных о количестве циклов изменения нагрузки и их величине N_{Σ} . Предполагая равномерное накопление усталостных повреждений в одинаковые периоды времени эксплуатации, можно рассчитать величину накопленных циклов изменения нагрузки.

Другой составляющей, необходимой для определения остаточного ресурса конкретного участка трубопровода, являются экспериментальные данные усталостных испытаний стали, из которой изготовлена конструкция.

Предполагая возможные параметры дальнейшей эксплуатации выбранной сварной конструкции (σ_{\max} и A_{σ}), можно определить общее число циклов до разрушения N_p .

Остаточный ресурс конструкции, выраженный как оставшееся число циклов нагружения до разрушения $N_{\text{ост}}$, вычисляют как разность

$$N_{\text{ост}} = N_p - N_{\Sigma}.$$

В процессе выполнения алгоритма необходимо выбирать более жесткие условия эксплуатации, чтобы несколько снизить остаточный ресурс и избежать аварийных ситуаций. Результаты работы свиде-

тельствую, что при проектировании сварных конструкций необходимо учитывать не только статические механические характеристики, но и циклическую прочность, а также дефектность соединения.

Литература.

1. V.N. Kuskov. Peculiarities of fatigue failure of pipe steels of different strength classes (pipes with welds)/ V.N. Kuskov, I.M. Kovenskiy, K.V. Kuskov // Energy production and management in the 21st century.2014.Vol. 2. Pp. 889-894.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ

*М.А. Кузнецов**, *С.А. Баранникова***, *д. ф-м. н., профессор, Е.А. Зернин**, *к.т.н., доцент*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)5-09-06

***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования*

«Национальный исследовательский Томский государственный университет»

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: kuznechik_85@mail.ru

При традиционных методах постановки эксперимента предусматривалось фиксирование на принятых уровнях всех переменных факторов, кроме одного, значения, которого определенным образом изменяли в заданном диапазоне его варьирования (однофакторный эксперимент); это требовало постановки очень большого числа опытов, многие из которых впоследствии оказывались ненужными, так как выполнялись в далекой от оптимальной области. При этом считалось, что математические методы следует использовать только на последней стадии исследования при математической обработке их результатов [1].

При многофакторном оптимальном планировании экспериментов математические методы используются на всех стадиях научного исследования, в том числе при постановке задачи и построении плана выполнения совокупности экспериментов [2].

Одним из достоинств математического планирования многофакторных экспериментов является достаточно четкое последовательное распределение выполняемых операций [2].

Задача данного исследования – разработка методики по определению оптимальной концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе при сварке плавящимся электродом в среде аргона.

Введение нанопорошков в сварочную ванну осуществлялось через устройство [3]. Устройство предназначено для получения смеси Ar с нанопорошком. Оно осуществляет регулирование концентрации частиц нанопорошков в объеме защитного газа, подающегося в зону горения дуги. В устройстве смесь образуется за счет инжектирования нанопорошка защитным газом.

Оптимизация концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе была проведена по следующим параметрам:

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1. Толщина дендрита | s (мм) |
| 2. Ширина дендрита | e (мм) |
| 3. Объем капли электродного металла | v (мм ³) |

До начала оптимизации концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе было установлено влияние параметров режима сварки плавящимся электродом в среде аргона на микроструктуру наплавленного металла. Результаты исследований показали, что минимальный размер зерен наблюдается при силе тока $I_{CB}=240-260$ А и напряжении дуги $U_D=28-30$ В (рис. 1).

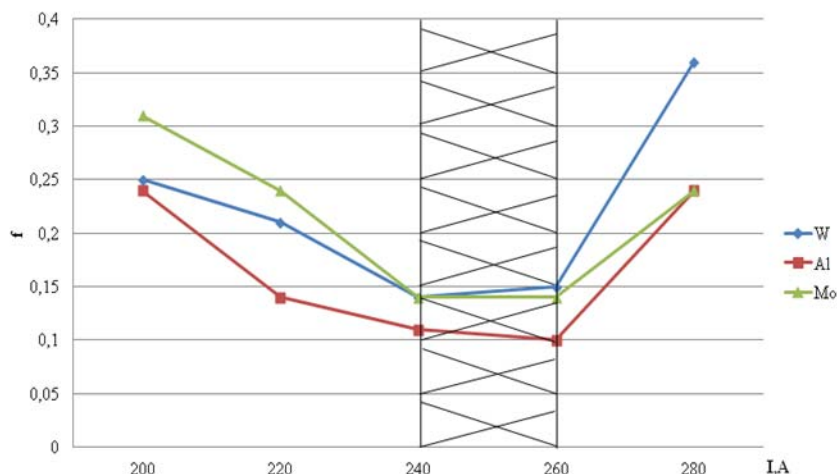


Рис. 1. Оптимальные режимы сварки

Собственно на этих режимах были проведены исследования по выбору оптимальной концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе.

Каждому наноструктурированному порошку присваиваем обозначение:

- 1. Концентрация наноструктурированных порошков (вольфрам) X
- 2. Концентрация наноструктурированных порошков (оксид алюминия) Y
- 3. Концентрация наноструктурированных порошков (молибден) Z

Предварительно были проведены эксперименты, по которым были определены границы изменения концентрации X, Y, Z , а также шаг изменения (результаты приведены в таблице 1). Концентрация приведена в миллиграммах на один метр сварного шва.

Таблица 1

Границы изменения содержания компонентов

Границы изменения компонентов	Шаг изменения параметров
$5 < X < 40$	$\Delta X = 5$
$5 < Y < 40$	$\Delta Y = 5$
$5 < Z < 40$	$\Delta Z = 5$

При планировании исследований была использована идея факторного планирования [4, 5, 6]. Главным условием факторного планирования является обеспечение ортогональности используемого «латинского (магического) квадрата» (факторный эксперимент) [7, 8].

В итоге, по концентрации X, Y, Z были рассмотрены восемь значений. Варианты факторов обозначили индексами $1, 2, 3, \dots (X_1, X_2 \dots X_8; Y_1, Y_2 \dots Y_8; Z_1, Z_2 \dots Z_8)$. Варьирование факторов приведено в таблице 2.

Таблица 2

Варьирование факторов.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8

Далее были проведены эксперименты по влиянию концентрации наноструктурированных порошков-модификаторов на размер дендрита и объем капли электродного металла.

Для нахождения оптимальной концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе определяли безразмерную функцию f из выражения:

$$f = s_{\delta} \cdot e_{\delta} v, \tag{1}$$

где s_{δ} – безразмерная величина толщины дендрита; e_{δ} – безразмерная величина ширины дендрита; v_{δ} – безразмерная величина объема капли электродного металла.

Безразмерная величина для толщины дендрита находится из выражения:

$$s\delta = \frac{s_i}{s_c}, \quad (2)$$

где s_i – действительное значение толщины дендрита при i -ом эксперименте; s_c – системное значение толщины дендрита (принимается для сварки без наноструктурированных порошков 1,5 мм).

Безразмерная величина для ширины дендрита:

$$e\delta = \frac{e_i}{e_c}, \quad (3)$$

где e_i – действительное значение ширины дендрита при i -ом эксперименте; e_c – системное значение ширины дендрита (принимается для сварки без наноструктурированных порошков 21 мм).

Безразмерная величина для объема капли электродного металла:

$$v\delta = \frac{v_i}{v_c}, \quad (4)$$

где v_i – действительное значение объема капли электродного металла при i -ом эксперименте; v_c – системное значение объема капли электродного металла (принимается для сварки без наноструктурированных порошков 3 мм³).

Для обеспечения качественного сварного соединения при сварке параметры s и e должны стремиться к минимуму. Стабильный процесс сварки обуславливается переходом капель электродного металла с торца сварочной проволоки в сварочную ванну, следовательно, параметр v также должен стремиться к минимуму.

Следовательно, оптимальная концентрация наноструктурированных порошков в защитном газе будет такой при, которой безразмерная функция (f) будет иметь минимальное значение (рис.2):

$$f = s\delta \cdot e\delta \cdot v\delta \rightarrow \min \quad (5)$$

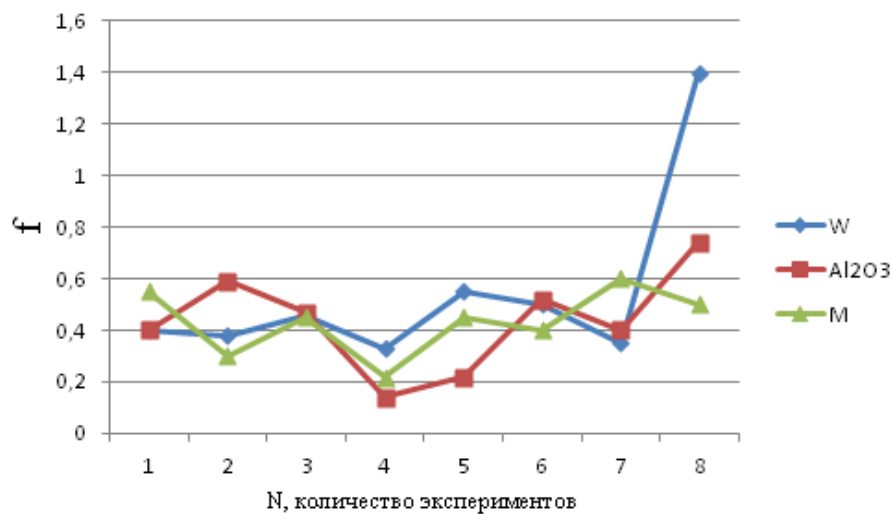


Рис. 2. Определение оптимальной концентрации наноструктурированных порошков-модификаторов в защитном газе: N – номер эксперимента

Выводы

На основе проведенного многофакторного эксперимента по влиянию различной концентрации наноструктурированных порошков-модификаторов в защитном газе на качество сварных соединений, была получена оптимальная концентрация X_4 , Y_4 и Z_4 . Минимальное значение безразмерной функции f было получено при $N=4$ (рис.2).

В итоге получили концентрацию наноструктурированных порошков-модификаторов в защитном газе (в граммах на один метр сварного шва):

Оптимальная концентрация различных наноструктурированных порошков-модификаторов в защитном газе 20.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований) в рамках проекта «Исследование строения, морфологии и дисперсности металла, наплавленного сваркой, в присутствии наноструктурированных модификаторов», проект № 14-38-50297-мол_нр.

Литература.

1. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7т. Том 1. Математическое моделирование и информационные технологии, модели сварочной дуги и формирования шва. / Б.М. Березовский // – Челябинск: Из-во. ЮУрГУ, 2002. – 85 с.
2. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Детерминированно-статистическая модель формы шва // Сварка и Диагностика. - 2011 - №. 6 - С. 31-35.
3. Кузнецов М.А., Журавков С.П., Зернин Е.А., Колмогоров Д.Е., Яворовский Н.А. Влияние наноструктурированных порошков-модификаторов на структуру сварного шва // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 7/2. - С. 260-264.
4. Статистические методы в инженерных исследованиях. / Под ред. Г.К. Круга. М.: Высш. шк., 1983. 216 с.
5. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
6. Налимов В.В. Статистические методы описания химических и металлургических процессов. М.: Металлургиздат, 1962. 61 с.
7. Федько В.Т., Слистин А.П. Разработка состава покрытия для защиты поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла. // Сварочное производство. 1998. № 6. С.40 – 42.
8. Федько В.Т., Слистин А.П. Оптимизация конструкции отсекающего в системе подачи в зону сварки. // Сварочное производство. 1997. № 5. С. 26–28.

МЕТАЛЛУРГИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАНА

А. Серикбол студент, руководитель: доцент, к.т.н. Валуев Д.В.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: aikosha94s@mail.ru; valuevden@rambler.ru*

Во многих бывших республиках металлургическая промышленность является важной экономической отраслью. Не исключение и республика Казахстан.

В последние годы металлургическая промышленность в Казахстане стала одной из ведущих отраслей, после нефтедобывающей, которой уделяется особое внимание правительства. Сегодня это государство состоит в числе мировых лидеров по металлургии. Казахстанские предприятия обеспечивают металлургической продукцией, как собственный рынок, так и экспортируют разные цветные металлы в другие страны.

Металлургическая промышленность в Казахстане развивалась не за один год, сегодняшнему экономическому благополучию отрасли предшествовала многолетняя работа. Большой вклад в развитие металлургии в Казахстане принесли металлурги страны. Металлург – это человек, который работает в отрасли производства металла из горных пород или металлолома. Эти специалисты – представители важнейшей профессии в экономике государства.

Кабидолла Зулкашевич Саркенов – казахский ученый, металлург, профессор, доктор технических наук (2005), член-корреспондент Национальной инженерной Академии Республики Казахстан (2004). Лауреат Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники (2003). В 1966 окончил Карагандинский политехнический институт, в 1968 – завод ВТУЗ при Карагандинском металлургическом комбинате. В 1968 – 1974 обучался в аспирантуре при химико-металлургическом институте Академии наук Казахской ССР. В 1960 – 1968 работал чугуновником, горновым доменного цеха Карагандинского металлургического комбината. В 1974 – 1978 – газовщиком, затем производственным мастером доменного цеха города Темиртау. В 1978 – 1985 – заместитель секретаря парткома Карагандинского металлургического комбината, секретарь райкома Компартии Казахстана, горкома города Темиртау. В 1985 – 1988 работал председателем горисполкома Темиртау. С конца 2007 на пенсии. В 2008 продолжил работу главным научным сотрудником химико-металлургического института имени Д. Абишева. Автор более 38 научных трудов и одного изобретения в области черной металлургии. Награды: орден «Знак Почёта», орден «Курмет» (2000), орден

Парасат(2007), медаль «Астана», медаль «Ветеран труда», медаль «10 лет независимости Республики Казахстан», медаль «10 лет Парламенту Республики Казахстан», медаль «50 лет Целине», медаль «В ознаменование 100-летия железной дороги Казахстана», лауреат Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники (2003).

Жанторе Нурланович Абишев – советский и казахстанский учёный-металлург, доктор технических наук (1983), профессор (1987), член-корреспондент Академии наук Казахстана (1983), заслуженный изобретатель Республики Казахстан (1994). Поступил на металлургический факультет Казахского горно-металлургического института. В 1957 году окончил вуз и был направлен на работу в Карагандинский научно-исследовательский угольный институт, переданный в 1959 году в состав Химико-металлургического института АН КазССР. В 1967 – 1972 годах работал заместителем директора института по научной работе. С 1972 по 1992 год – директор Химико-металлургического института. Основные научные труды – в области металлургии цветных и редких металлов. Разработал технологию обогащения пирит содержащего полиметаллического сырья терромагнитным способом и автоклавного обескремнивания высококремнистых сульфидных материалов. Имеет 50 авторских свидетельств и патентов. Награждён орденом «Знак почёта». Постановлением Кабинета Министров Республики Казахстан № 1576 от 20 октября 2000 года Химико-металлургическому институту было присвоено имя Жанторе Абишева.[2]

Аскар Минлиахмедович Кунаев – советский и казахский учёный, специалист в области металлургии чёрных и цветных металлов и комплексного использования минерального сырья. Доктор технических наук (1970), профессор (1970), академик АН КазССР(1972), заслуженный деятель науки КазССР (1977), лауреат Государственных премий СССР(1978, 1984) и КазССР (1973, 1982). Член-корреспондент АН СССР с 26 ноября 1974 года по Отделению физикохимии и технологии неорганических материалов, академик с 29 декабря 1981 года, президент АН Казахской ССР (1974 – 86). Окончил Московский государственный институт стали и сплавов (1951). Сталевар, мастер, начальник смены на Темиртауском металлургическом заводе (1951 – 1953), старший лаборант, младший, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией (1953 – 1970), директор Института металлургии и обогащения АН КазССР с 1970 года, вице-президент (1972 – 1974), президент АН КазССР (1974 – 1986). Исследования посвящены разработке фундаментальных основ металлургических процессов, созданию новых технологических систем и аппаратов для переработки металлургического сырья. Занимался разработкой комплексного использования минерального сырья, производства легирующих металлов, использования высококремнистых забалансовых редкометалльных руд. Награжден орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, медалями. [5]

Владимир Константинович Грузинов – металлург, академик АН КазССР(1962), доктор технических наук (1959), профессор (1960). В1927 году окончил Сибирский технологический институт. С1937по1946год был главным конструктором по металлургическому оборудованию Уралмашзавода. С 1946 по 1962 год работал заведующим кафедрой Уральского политехнического института. С1962 года заместитель директора Химико-технологического института АН КазССР. Разработал и внедрил оригинальный метод автоматического набора, взвешивания и загрузки шихтовых материалов в доменные печи. Занимался вопросами рационального использования железифосфористых руд Лисаковского месторождения. Награждён орденом «Знак Почёта».

Хусайн Хасенович – инженер-металлург, доктор технических наук, доктор философии, профессор. Академик ряда общественных научных организаций – Международной кадровой академии Совета Европы (ЮНЕСКО), Международной экономической академии Евразии, Международной академии информатизации, Академии наук высшей школы Республики Казахстан, депутат Сената Парламента Республики Казахстан. В 1971 году окончил Казахский политехнический институт им. В. И. Ленина, инженер-металлург. Затем окончил аспирантуру, в 1978 году защитил кандидатскую диссертацию. С 1981 – ассистент, старший преподаватель, доцент, заведующий кафедрой общей и теоретической физики Казахского политехнического института им. В. И. Ленина. С 1993 года – старший научный сотрудник, директор Центра повышения квалификации, проректор Казахского Национального технического университета им. К. И. Сатпаева. В 1998 защитил докторскую диссертацию «Физико-химические основы поведения редких металлов в процессах автогенной плавки полиметаллического сырья». С 1999 года – профессор Казахского национального университета им. К. И. Сатпаева. С 2000 года – проректор Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева. С 2001 года – ректор Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова. Председатель Совета ректоров Костанайской области (2006). Академик Международной кадровой

академии совета Европы – ЮНЕСКО (с 1999), Высшей школы РК (с 2004), Международной экономической академии Евразии (с 2005), Международной академии информатизации (с 2005). С 2003 года – член НДП «Нур Отан», член бюро, заместитель Председателя областного филиала НДП «Нур Отан»; в 2003 – 2008 – депутат областного маслихата. С декабря 2008 года – депутат Сената Парламента Республики Казахстан, член Комитета по социально-культурному развитию. Награды: орден «Құрмет», почётная грамота Совета МПА СНГ, 9 медалей, в том числе 4 зарубежные – в номинации стратегический менеджмент (Франция), за интеллектуальное развитие общества (Испания), за индивидуальный вклад в развитие высшего образования (Англия) и юбилейная медаль (Украина). Присвоено звание «Ведущий педагог мира» с внесением имени в реестр Биографического центра Кембриджа (Англия), «Европейский педагог инженерного вуза», «Почетный работник образования Республики Казахстан», благодарность Президента Республики Казахстан Почётный работник образования Республики Казахстан. Автор более 130 научных публикаций.

Евней Арстанович Букетов – казахстанский учёный в области химии металлургии, писатель, поэт, академик АН Казахской ССР (1975), доктор технических наук (1967), профессор, лауреат Государственной премии СССР (1969), член Союза писателей СССР. Окончил Казахский горно-металлургический институт в 1950 году, был оставлен в аспирантуре. Затем он находился на педагогической и научной работе в этом вузе. Защитил кандидатскую диссертацию в 1954 году по проблемам молибдена и его химического анализа. С февраля 1954 года он работал ассистентом, а с сентября 1956 годам – доцентом кафедры металлургии легких и редких металлов Казахского горно-металлургического института. С августа 1958 года по февраль 1960 года он был заместителем директора КазГМИ по учебной работе. С 1960 директор Химико – металлургического института АН КазССР в Караганде. Букетов был удостоен Государственной премии СССР в 1969 году за участие в разработке и внедрении технологии комплексной переработки медных концентратов Балхашского горно-металлургического комбината с применением кислорода на стадии конвертирования, с подачей гранулированных джекказганских концентратов в шахтной печи с наклонной решеткой в качестве «холодной присадки». С марта 1972 до середины января 1980 был ректором Карагандинского государственного университета. В 1962 году получил звание старшего научного сотрудника по специальности "Металлургия цветных металлов". В 1966 году в объединенном Ученом Совете Московского ордена Трудового Красного Знамени Института стали и сплавов он защитил докторскую диссертацию на тему "Извлечение селена и теллура из медьэлектролитных шлаков"[1]. В 1967 году Букетов участвовал во Всемирной выставке в Монреале (Канада). В 1970 году он избирается членом-корреспондентом, а в 1975 году – действительным членом (академиком) Академии наук Казахской ССР. В 1978 – 1982 годах организовал в Караганде I-е и II-е Всесоюзные совещания на тему "Химия и технология халькогенов и халькогенидов". Много сделано Е. А. Букетовым в области черной металлургии. Близкое расположение Темиртау к Караганде сблизило его с металлургами этого города. Большое внимание он уделял ферросплавному производству с точки зрения возможности использования высокозольного угля для рудотермической плавки забалансовых марганцевых руд на комплексные ферросплавы. В последние годы своей жизни Е.А. Букетов большое внимание уделял получению жидкого топлива (бензина) из высокозольных бурых углей различных месторождений Карагандинского бассейна и создал для этой цели специальную лабораторию. В 1983 году руководство ХМИ предложило Евнею возглавить лабораторию по черной металлургии. Он дал согласие. Евней Арстанович был не только крупным учёным, но и литературным критиком, переводчиком, публицистом, поэтом и писателем. Писал он на русском и казахском языках. Член КПСС. Делегат 13, 14-го съездов Компартии Казахстана, неоднократно избирался депутатом Карагандинского областного Совета. Награжден орденом Трудового Красного Знамени, медалью «За доблестный труд», дважды Почетной грамотой Верховного Совета КазССР. Имя Букетова с 16 августа 1991 года носит Карагандинский государственный университет, где он был первым ректором, У главного корпуса КарГУ установлен памятник Букетову (2006 г.). Имя Букетова присвоено улицам в Петропавловске и Караганде. 19 июня 1992 г. был открыт музей в г. Караганде по ул. Гоголя 38. Директор музея брат Евней Арстановича – Камзабай Арстанович. В 1985 г. установлена мемориальная доска на Химико-металлургическом институте, где он проработал в последние годы жизни. Разрабатывал физико-химические основы новых процессов в цветной металлургии. Исследовал химию и технологию селена и теллура, возможности совершенствования способов извлечения молибдена и рения, комплексной переработки марганцевых руд. Е.А. Букетов лично и в соавторстве со своими учениками опубликовал более 240 научных статей и тезисов, 9 монографий, 2 учебных пособия, получил около 100 авторских свидетельств СССР и более 15 патентов США, Канады, Австралии, Швеции и ФРГ.[4]

Нурсултан Абишевич Назарбаев уже к 18-ти годам, к окончанию средней школы, заметно выделялся среди своих сверстников хорошими знаниями, широким кругозором. Постоянный труд и регулярные занятия спортом сделали его физически крепким, он выглядел заметно старше своих сверстников. Но главное, что его отличало – это самостоятельность в суждениях и поступках и постоянное стремление к лидерству. Он умел построить отношения со сверстниками с первых минут знакомства, был «заводилой» и общественным организатором. Любил пошутить, хорошо пел, располагал к себе людей и быстро становился душой компании. Тогда же проявилась и еще одна из присущих ему черт – прагматизм. Узнав о комсомольском наборе на большую стройку металлургического комбината в Темиртау, Нурсултан принял решение стать металлургом. Нурсултану хотелось поскорее и самому прочно встать на ноги, и помочь материально родителям, своим родственникам. Ведь он был в семье старшим сыном. Молодой Назарбаев интуитивно чувствовал, что там, на крупной стройке, начинается новая большая жизнь, открываются широкие личные перспективы. Он был полон решимости самому строить свою жизнь, свою будущую судьбу. По прибытии в Темиртау его, как будущего металлурга, направили еще дальше - на обучение на Украину, в профессионально-техническое училище при Днепровском металлургическом заводе в городе Днепродзержинске. Нурсултан попал в группу доменщиков, куда отбирали наиболее физически развитых юношей. Полтора года учебы в Днепродзержинске пролетели быстро. В 1959 году Нурсултан Назарбаев выиграл соревнования Всесоюзного центрального совета профсоюзов (ВЦСПС). Таким образом, к окончанию училища он не только усвоил трудную науку металлурга, но и стал мастером спорта Украины по борьбе. Настойчивость, упорство позволили ему овладеть на «отлично» всеми учебными предметами по избранной специальности. Также на «отлично» сдал молодой Назарбаев и выпускные квалификационные экзамены, получив свидетельство с отличием «второго горнового восьмого разряда доменной печи». С возвращением в Темиртау начался «огненный» этап в трудовой биографии Нурсултана Назарбаева. 3 июля 1960 года запустили доменную печь – первую и единственную тогда во всей Средней Азии и Казахстане. Эта дата стала днем рождения Казахской Магнитки – Карагандинского металлургического завода. Вместе с опытными мастерами в плавке первого казахстанского чугуна участвовал и молодой металлург Назарбаев. На «Кармете» он освоил еще несколько смежных профессий: работал чугунолитейщиком разливочных машин, горновым доменной печи, диспетчером, газовщиком доменного цеха. Работа была очень тяжелой, у некоторых от страшной жары и напряжения случались обмороки, из носа шла кровь. Многие не выдерживали, уходили. Но не таков был Назарбаев, он поклялся себе, что выстоит, и выстоял, привык, втянулся в работу. Вместе с ним преодолели все трудности, стали высококвалифицированными металлургами и его товарищи - Тулеген Юсупов, Булат Каримов и другие. Как передового рабочего-казаха и комсомольца, Назарбаева часто направляли на съезды ВЛКСМ и молодежные фестивали. Он стал известен, фотография передовика производства Назарбаева появилась даже в центральной прессе.[3] Среди коллег по работе молодой металлург пользовался большим уважением и авторитетом, поэтому после вступления в партию он вскоре стал и партгором цеха. Переломным моментом стало его назначение в 1972 году на должность секретаря парткома родного Карагандинского металлургического комбината. Фактически он стал вторым после директора комбината лицом на гигантском по масштабам Казахстана предприятии, на котором работали 30 тысяч человек. Это была огромная ответственность, тяжесть которой он вскоре прочувствовал в полной мере. Приходилось заниматься не только партийными делами, но и производством, планами выпуска продукции, вопросами ремонта и строительства, снабжением предприятия, бытовыми, жилищными, культурными и семейными делами множества людей. Он не скрывал недостатки на комбинате, а боролся с ними. В результате лучше пошли дела на комбинате, отстраивался и облагораживался сам Темиртау.[6]

Литература.

1. Медеу Сарсесек Евней Букетов (Жизнь замечательных людей). — 2007.
2. Абишев Жанторе Нурланович // Казахстан. Национальная энциклопедия – Алматы: «Қазақ энциклопедиясы» 2004 – Т. I. – ISBN 9965-9389-9-7.
3. Какимбек Слыков. Корифей переработки минерального сырья. «Казахстанская правда» (18 марта 2011)
4. Академик Е.А. Букетов – ученый и писатель / С. Абдыманапов, М. Жамбеков // Вестник высшей школы Казахстана. – 1995. – №4. – С.90-94. – (Корифей науки).
5. Б. Сапар Али/Т. Елдесбай: Рациональная модернизация политической системы современного Казахстана | Центр Азия
6. «Казахстан. Национальная энциклопедия», 2 том – Алма-Ата: Қазақ энциклопедиясы, 2005, С. 119, ISBN 9965-9746-3-2.

**ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ НА
КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА**

М.А. Кузнецов, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., Д.С. Карцев

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)5-09-06

E-mail: kuznechik_85@mail.ru

В сварных соединениях высоколегированных, коррозионно-стойких сталей, вследствие высокой электрохимической гетерогенности, обусловленной неоднородностью химического состава металла шва, структуры, свойств и напряженного состояния происходят наиболее интенсивные коррозионные разрушения по сравнению с основным металлом [1,2].

Основные трудности свариваемости данных сталей обусловлены многокомпонентностью их легирования и разнообразием условий эксплуатации сварных конструкций. Главной и общей особенностью сварки является склонность к образованию в металле шва и околшовной зоне горячих трещин, имеющих межкристаллитный характер [3, 4, 5].

Для повышения стойкости против коррозионного износа, а также восстановление работоспособности оборудования, работающих в коррозионно-активных средах необходим комплексный подход, включающий создание и освоение новых методов восстановления работоспособности оборудования. В процессе эксплуатации происходит активный коррозионный износ, протекающий особенно интенсивно в зонах сварных соединений [6]. Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений применяют несколько способов [3,6,7, 8].

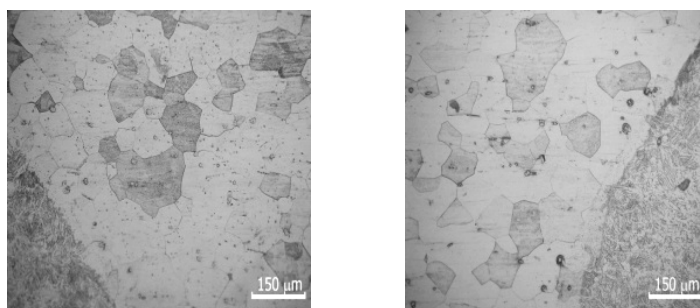
В работе предлагается исследовать влияние наноструктурированных порошков-модификаторов на коррозионную стойкость сварных соединений из высоколегированной стали аустенитного класса. Наноструктурированные порошки-модификаторы подавали в сварочную ванну через защитный газ в помощи устройства [9].

Для экспериментальных исследований использовались образцы из стали 12X18H10T в виде пластин толщиной 5 мм, сваренные плавящимся электродом в среде аргона сварочной проволокой марки 12X18H9T согласно ГОСТ 14771-76. Образцы наплавлялись по четырем различным вариантам: №1 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения; №2 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением Мо в защитный газ; №3 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением Al_2O_3 в защитный газ; №4 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением W в защитный газ.

Наноразмерные порошки вольфрама и молибдена были получены по методу электрического взрыва проводника [10], а нановолокна AlOON в процессе термогидролиза наноразмерного электровзрывного порошка Al. Методика получения нановолокон AlOON, используемых в данной работе, описана в [11].

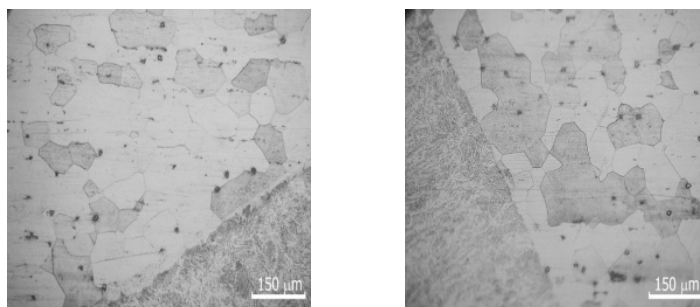
Для проведения испытаний экспериментальных образцов на коррозионную стойкость применяли метод АМУФ ГОСТ 6032, в котором испытания образцов проводятся в растворе серной кислоты и серноокислой меди в присутствии металлической меди и фтористого натрия или фтористого калия. Реактив и режим воздействия был выбран из приложения Г ГОСТ 6032, согласно рекомендациям для данной марки стали. Продолжительность испытания составила 2 часа. После окончания испытаний проводилась аттестация на стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК) металлографическим методом, для чего были приготовлены металлографические шлифы из контрольных образцов, не подвергавшихся испытанию, и образцов после испытания. Плоскость шлифа была перпендикулярна сварному шву и включала металл шва, зону термического влияния и основной металл. Микроструктура выявлялась травлением в рекомендованном ГОСТ 6032 электролите при времени воздействия до появления границ зерен. Для регистрации результатов металлографического исследования использовались микроскоп оптический НЕОРНОТ-21 и микроскоп конфокальный лазерный сканирующий LEXTOLS4000.

Анализ микроструктур показал, что у всех образцов выявляется зеренная аустенитная структура с примерно одинаковым размером зерна. Однако, при одном и том же времени воздействия наиболее интенсивно вытравливались границы зерен у образцов №1 и №3 (Рис.1 и 2).



а) б)

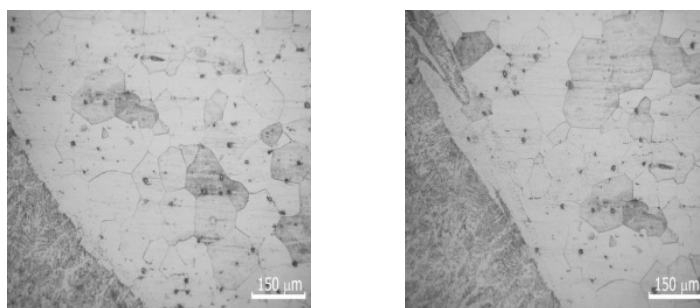
Рис. 1. Микроструктура металла сварного соединения (образец №1):
а – после испытаний; б – контрольный образец



а) б)

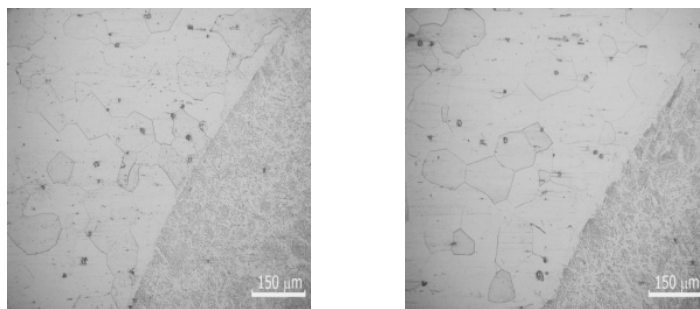
Рис. 2. Микроструктура металла сварного соединения (образец №3):
а – после испытаний; б – контрольный образец

Наиболее слабо травились образцы №2 и №4 (рис 3 и 4).



а) б)

Рис. 3. Микроструктура металла сварного соединения (образец 2):
а – после испытаний; б – контрольный образец



а) б)

Рис.4. Микроструктура металла сварного соединения (образец 4):
а – после испытаний; б – контрольный образец

Для определения глубины разрушения границы зерна выборочно была исследована структура образца после коррозионных испытаний с помощью лазерно-конфокального микроскопа. Результаты представлены на рис. 5. Они подтверждают отсутствие признаков коррозии по границам зерен чрезвычайно малой высотой z-координаты.

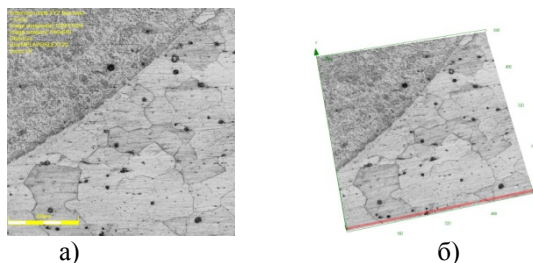


Рис. 5. Микроструктура образца (образец №2) после испытаний на МКК:
а - 2D-изображение; б - 3D-изображение

Оценка склонности к МКК производилась путем определения количества зерен с четко выявленными границами, ширина которых могла достигать 30 мкм. Проведенные исследования не обнаружили зерен с такой шириной границ. Самые тонкие границы зерен были у образца №4, в данном случае отмечена и наибольшая схожесть общего вида микроструктуры контрольного образца и образца после испытаний в агрессивной среде.

Границы зерен в зоне термического влияния не вытравливаются. Это значит, что при стандартном испытании на коррозионную стойкость проявлений межкристаллитной коррозии действительно нет ни у одного образца. Процесс травления происходил не по границам зерен, а по всей плоскости зерен. В зависимости от ориентации зерен их поверхность стравливалась сильнее или слабее. Таким образом, между зернами образовывались ступеньки. Средняя высота этих ступенек на разных образцах различна: №1 – 200 нм, №2 – 275 нм, №3 – 320 нм, №4 – 250 нм. Микроструктура образцов представлена на рисунке 6.

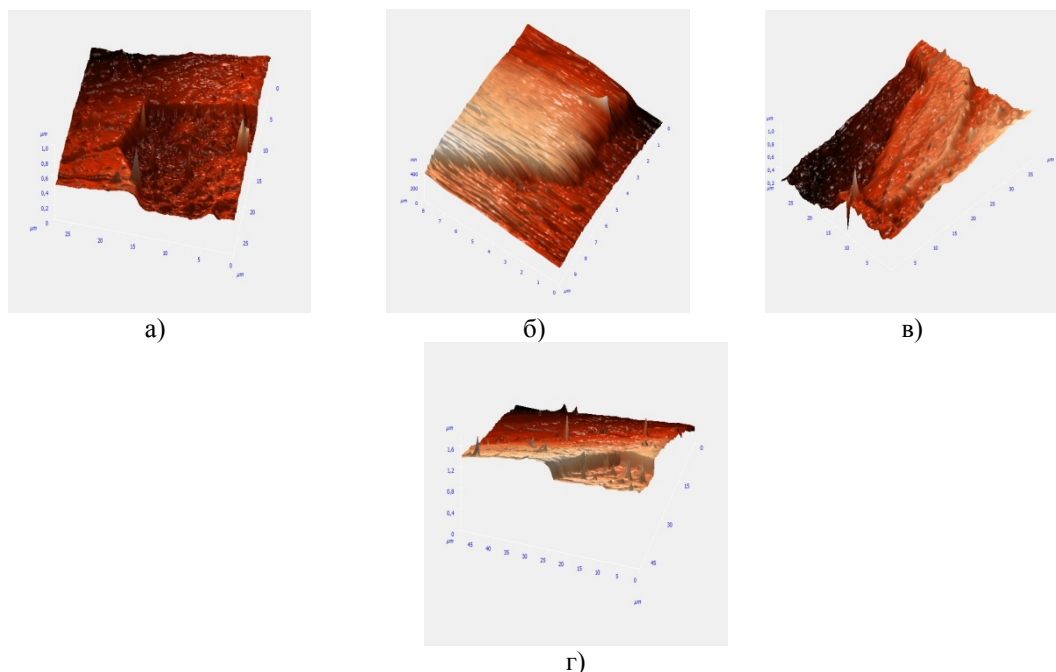


Рис. 6. Микроструктура образцов: а – образец №1; б – образец №2; в – образец №3; г – образец №4

Выводы:

1. Природа нанопорошков влияет на коррозионную стойкость образцов сварных соединений. Самые коррозионностойкие образцы получены при использовании нанопорошков молибдена и вольфрама.

2. Самые тонкие границы зерен были обнаружены у образца, в который при сварке добавлялся нанопорошок вольфрама.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований) в рамках проекта «Исследование строения, морфологии и дисперсности металла, наплавленного сваркой, в присутствии наноструктурированных модификаторов», проект № 14-38-50297-мол_нр.

Литература.

1. В.И. Махненко, О.В. Махненко, С.С. Козлитина, Л.И. Дзюбак Сварные конструкции из аустенитной стали типа 10X18H10T в условиях радиационного набухания. // Автоматическая сварка, №2, 2012, с. 7-12.
2. Е.А. Кривоносова, Е.А. Синкина, А.И. Горчаков Влияние типа покрытия электрода на коррозионную стойкость металла шва стали 08X18H10T. // Сварочное производство, №4, 2012, с. 38-41.
3. D.P. Pyaschenko, D.A. Chinakhov, Y.M. Gotovschik. Investigating the influence of the power supply type upon the properties of the weld joints under manual arc welding // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 1040. - p. 837-844.
4. Павлов Н. В. , Крюков А. В. , Зернин Е. А. , Домнина Е. Г. Формирование структуры хромоникелевых аустенитных сталей при сварке с импульсной подачей проволоки в смеси газов // Технология металлов. - 2013 - №. 2. - С. 22-25.
5. Е.В. Коломийцев Коррозионно усталостная прочность тавровых соединений стали 12X18H10T и методы ее повышения. // Автоматическая сварка, №12, 2012, с. 41-43.
6. А.Г. Александров Коррозионная стойкость сварных швов аустенитно-ферритных сталей в щелочных средах. // Сварочное производство, № 8, 1990, с. 15-16.
7. Ю.Н. Сараев, Ю.В. Селиванов Оценка производительности и качества выполнения ремонтно-восстановительных работ оборудования из стали типа 12X18H10T. // Сварочное производство №1, 2011, с. 17-22.
8. А.Г. Александров Коррозионная стойкость сварных соединений хромоникелевых сталей в щелочных средах (обзор). // Сварочное производство, № 5, 1990, с. 12-13.
9. А.Н. Сафонов, Р.Д. Радченко Структура и коррозионная стойкость сварных соединений сталей аустенитного класса после лазерной обработки поверхности. // Сварочное производство, № 7, 1998, с. 5-9.
10. M.A. Kuznetsov, S.P. Zhuravkov, E. A. Zernin, D.E. Kolmogorov, N.A. Yavorovsky Influence of Nanostructured Powder Modifiers on the Structure of a Welding Bead // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 872. - p. 118-122.
11. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва // Известия Высших учебных заведений. Физика. – 1996. – № 4. – с. 114 – 136.
12. Яворовский Н.А., Шиян Л.Н., Савельев Г.Г., Галанов А.И. Модифицирование полимерных мембран нановолокнами оксигидроксида алюминия // Нанотехника. – 2008. – №3 (15). – С.40-45.

НАПЛАВКА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ НЕЗАВИСИМОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ

*А.А. Безруких, ст. преподаватель, С.А. Готовко, к.т.н., доцент, Р.А. Мейстер, к.т.н., доцент.
ФГАОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет Политехнический институт, г. Красноярск
660074 г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 корп. Г, оф. 2-62, тел.8(3912)-912-562
E-mail: politex_1999@bk.ru*

Наплавка, как и сварка, связана с нагревом металлов в широком интервале температур и последующим охлаждением нагретых зон с разными скоростями. Это приводит к сложным структурным и фазовым изменениям, имеющим определяющее значение для указанных выше свойств. Наплавленный металл образуется при кристаллизации жидкого электродного и оплавленного основного металла, приобретая литое строение. Оно зависит от условий плавления и кристаллизации расплавленного металла при наплавочном цикле, от химического состава и типа диаграммы состояния данного сплава, от диффузионных процессов в жидком и твердом состоянии, от структурных и фазовых превращений при охлаждении в твердом состоянии, а также от напряжений и деформаций [1].

Характер участка сплавления валика с основой имеет большое значение для свойств и работоспособности наплавки, особенно – из разнородных металлов и различных по составу и структурному классу сталей. Он определяет надежность связи наплавленного металла с основным. Основным металлом обычно является низко- или среднеуглеродистая сталь, а наплавленным – высокоуглеродистый, высоколегированный сплав. Строение и свойства участка сплавления этих двух материалов будут

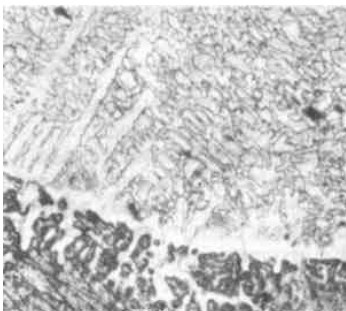


Рис. 1. Микроструктура участка сплавления основного металла стали 20 с наплавленным типом 05Х2М, $\times 550$ [1]

зависеть от степени проплавления, характера промежуточных сплавов и диффузии углерода в приграничных участках. Структурное состояние участка сплавления, а, следовательно, и его свойства зависят также от диффузии углерода из наплавленного металла в основной и наоборот.

При наплавке на низкоуглеродистую сталь (0,2% С), в зависимости от состава наплавляемого металла, в зоне сплавления могут получаться структуры с преобладающим количеством мартенсита или аустенита в зависимости от содержания углерода (рис. 1).

Качество наплавки определяется комплексом механических и специальных свойств, являющихся, как правило, структурно чувствительными характеристиками. Оценка строения и структуры позволяет характеризовать качество и свойства ма-

териала, а также управлять структурными и фазовыми превращениями, регулируя параметры технологического процесса. Эта задача решается с помощью методов материаловедения с учетом специфических особенностей, характерных для сварных соединений и наплавки. Они связаны с тем, что соответствующие структурные превращения протекают в неравновесных условиях, а температура нагрева значительно выше, чем, например, при термической обработке. Резко отличаются при этом и условия кристаллизации, определяемые характером тепловых полей и малыми объемами зоны расплавления в сравнении с литейными процессами [2].

Важнейшими легирующими элементами высоколегированных сталей являются хром, никель и марганец. Марганец и никель снижают температуру γ - α -превращения, вследствие чего при относительно больших их содержаниях в сталях аустенитная структура стабильна при нормальных (комнатных) температурах. Лучшие свойства имеют аустенитные стали, содержащие как хром, так и никель. Они не склонны к росту зерна, а α -фаза образуется в аустените значительно медленнее, чем в феррите из-за меньших скоростей диффузии.

В металле, наплавленном аустенитными материалами, как правило, вторичная кристаллизация не происходит из-за высокой стабильности аустенита, а в процессе дальнейшего охлаждения после затвердевания фиксируется структура первичной кристаллизации. В зависимости от содержания хрома и никеля сталь может иметь аустенитную или аустенитно-ферритную структуру. При недостаточном содержании никеля и хрома металл наплавки может иметь вторичную аустенитно-мартенситную структуру. Фазовый состав наплавленного металла определяется с помощью диаграммы Шеффлера.

На свойства металла наплавки и на образующуюся структуру наплавленного слоя большое влияние оказывает перемешивание основного и присадочного металлов. Обычно стремятся к небольшому перемешиванию наплавленного металла с основным.

При наплавке многих высоколегированных сплавов в переходе от наплавленного металла к основному образуется бесструктурная узкая зона, называемая также белой зоной. Эта низкоуглеродистая светлая, легированная, узкая переходная зона, имеющая мелкую структуру, должна представлять собой нетравящийся мартенсит или никель-железный твердый раствор. При наплавке нержавеющей сталей на нелегированную сталь образуется резко выраженная переходная зона между наплавленным и основным металлом достаточно большой ширины.

В данной работе проведено исследование наплавки тремя способами плавящимися электродами для сварки нержавеющей и жаростойких сталей марки ОК61. 30 $\varnothing 2,5$. Ниже приведена их характеристика (табл. 1), химический состав и механические свойства наплавленного материала (табл. 2) и режимы наплавки (табл. 3).

Таблица 1

Характеристика электродов	
Параметр	Описание
Марка электрода	OK61. 30
Тип электрода (международное обозначение)	Э-02Х20Н10Г2 / ГОСТ 10052-75 (E308L-17n / AWS 5.4-92; E19 9LR12 / EN 1600)
Тип покрытия	рутиловый
Свариваемые стали	03Х18Н11, 12Х18Н10Т, 06Х18Н11, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 304 и т.п.
Жаростойкость, °С	до 875
Ток	= + / ~
$U_{х.х.}$, В	55
Положение	1, 2, 3, 4, 6

Электрод ОК61. 30 со сверхнизким содержанием углерода является универсальным для сварки нержавеющей сталей. Он легко зажигается (в том числе и повторно), дает хорошее формирование валика, шлак самоотделяется. Материал электрода обеспечивает стойкость против межкристаллитной коррозии.

Таблица 2

Химический состав и механические свойства металла, наплавленного электродами ОК61. 30

Химический состав					Механические свойства				
С	Si	Mn	Cr	Ni	Предел текуче- сти	Предел прочности	Относитель- ное удлине- ние, %	Ударная вяз- кость KV при +20° С, Дж	Феррит- ное чис- ло, FN
0,03	0,8	0,8	19,5	10,0	420	570	45	70	3-10

Таблица 3

Режимы наплавки образцов электродами ОК61. 30 Ø2,5

Наплавка	Ток I , А	Напряжение на дуге U , В	Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$, В
Обычная одним электродом	80	25-30	72
Расщепленным электродом тремя электродами	80	25-28	98
Трехфазная независимой дугой тремя электродами	65	32-35	72

Из образцов наплавки электродами ОК61. 30 / E308L-17n Ø2,5 изготовлены шлифы для выявления характера микроструктуры электротравлением в шавелевой кислоте. Металлографические исследования проводились под микроскопами МБС-10 и МЕТАМ ЛВ-31. Снимки макро- и микроструктур приведены на рис. 2.

Валик обычной наплавки одним электродом (рис. 2, а) характеризуется значительной степенью проплавления в основной металл, малой высотой и шириной, резко выраженной границей в переходной зоне. Микроструктура середины валика наплавки в поперечном сечении имеет монослойное аустенитное строение (рис. 2, з). Очевидна пористость. Линия сплавления волнистая, четкая. В сечении можно выделить переходную зону с прослойками однородного белого металла у линии сплавления (вероятно – никеля). Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, ж) иллюстрирует глубокое проплавление.

Валик, наплавленный расщепленным электродом (рис. 2, б) характеризуется пониженной степенью проплавления в основной металл, средней высотой и шириной, резко выраженной границей в переходной зоне. Микроструктура середины валика наплавки в поперечном сечении имеет слоистое аустенитное строение (рис. 2, д). Пористость – незначительная. Линия сплавления относительно ровная, четкая. Хорошо видна переходная зона с однородной белой прослойкой у линии сплавления.

Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, з) иллюстрирует проплавление средней глубины.

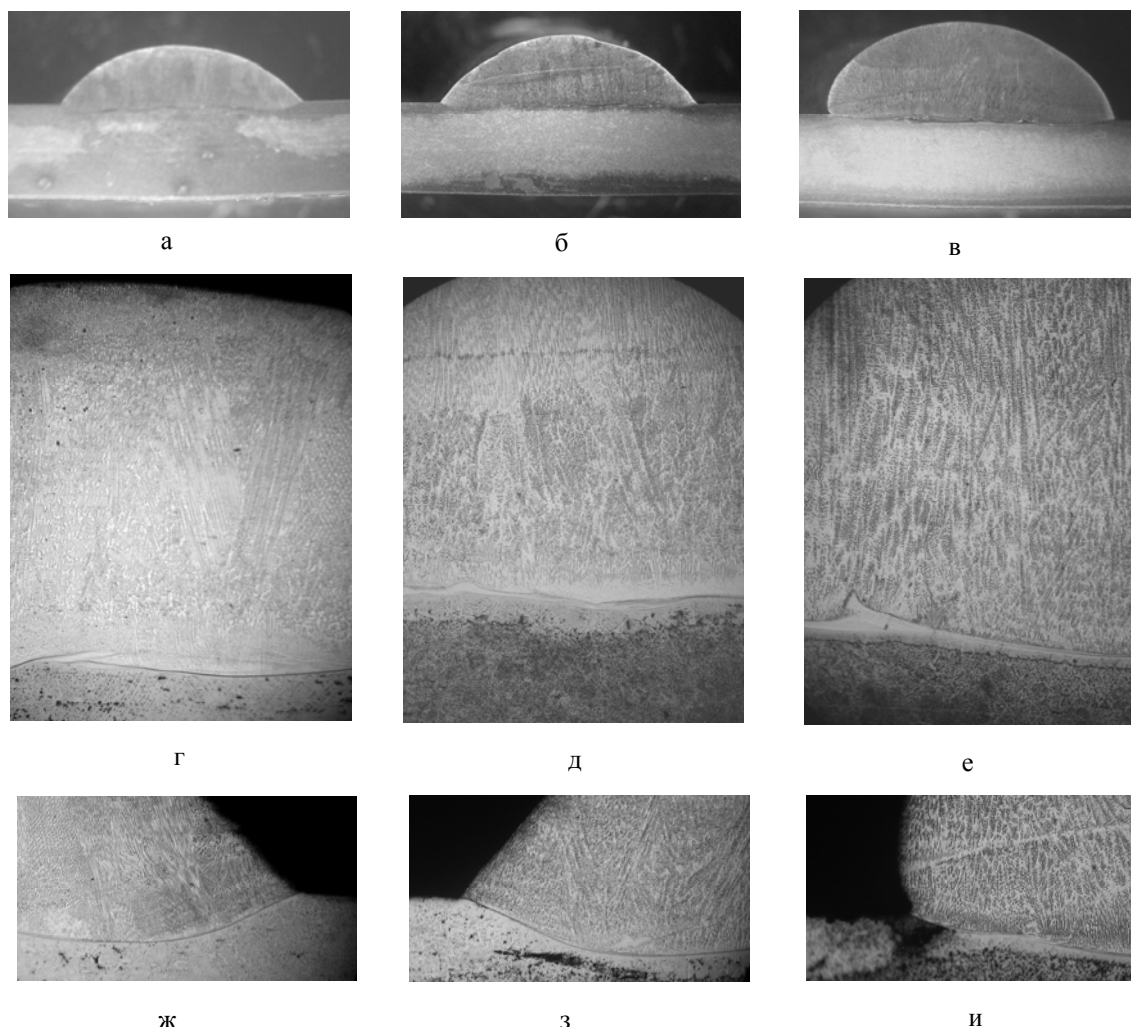


Рис. 2. Структура наплавки различными способами в поперечных сечениях валиков.
а, г, ж – одним электродом обычным способом; *б, д, з* – расщепленным электродом; *в, е, и* – трехфазная наплавка независимой дугой тремя электродами; *а, б, в* – макроснимки, $\times 8$; Микроструктура наплавки, $\times 50$: *г, д, е* – середина валика; *ж, з, и* – периферийная зона

Валик, наплавленный независимой дугой тремя электродами (рис. 2, в) характеризуется: минимальным проплавлением в основной металл; значительной полнотой сечения с максимальной высотой и шириной в сравнении с наплавками другими способами; углами схождения поверхностей основного и наплавленного металла, близкими к 90° ; резко выраженной границей в переходной зоне; слоистостью. Микроструктура середины валика наплавки имеет слоистое аустенитное строение (рис. 2, е). Пористость – незначительная. Линия сплавления ровная, четкая. Переходная зона представлена однородной прослойкой у линии сплавления (вероятно – никеля) с гребнями, вдающимися в наплавленный металл. Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, и) иллюстрирует минимальную глубину проплавления. Шлаковое включение слева в угловой зоне линии сплавления является следствием образования пазухи из-за характерной формы поперечного сечения валика с углом схождения поверхностей металла $<90^\circ$. Поэтому необходима тщательная зачистка таких пазух перед наплавкой соседних валиков.

Во всех случаях очевиден резкий переход между наплавленным и основным металлом вследствие разнородности химического состава, а структура наплавленного металла имеет аустенитное строение. Аустенитный характер наплавленного металла благоприятен для придания рабочим по-

верхностям специфических эксплуатационных свойств. Наблюдаются прослойки белого металла у линии сплавления, описанные выше. Это особенно выражено при наплавке трехфазной независимой дугой. При трехэлектродных способах наплавленный металл имеет слоистое строение. Пористость минимальна при наплавке трехфазной независимой дугой. Данный процесс дает наименьшую из всех способов глубину проплавления в основной металл. Следовательно, применение независимой трехфазной дуги обеспечивает получение наплавленного металла без смешивания с материалом основы в первом – втором слое. Полнота сечения наплавки говорит о высокой эффективности процесса.

Литература.

1. Лившиц, Л. С. *Металловедение для сварщиков (сварка сталей)* / Л. С. Лившиц. – М.: Машиностроение, 1979. – 253 с.
2. Хорн, Ф. *Атлас структур сварных соединений* / Ф. Хорн (Пер. с нем.). – М., Металлургия, 1977. – 288 с.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ПРУЖИН ИЗ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

*Э.Б. Цхай**, к.т.н, доц., *Г.Г. Волокитин**, д.т.н., проф., *А.А. Клопотов****, д.ф-м.н., проф.

**Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел. (3822)-65-07-23*

***Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru

В машиностроении находят широкое применение тарельчатые пружины, представляющие собой упругие элементы, изготовленные холодной штамповкой. Тарельчатые пружины работают при статической, динамической и циклической нагрузках [1]. Это связано с тем, что применение резьбовых соединений в ответственных изделиях в машиностроительной, автомобильной и авиационной промышленности и других отраслях, требуется сохранять усилие затяжки. Особенно это относится при затяжке резьбовых соединений с большими номинальными диаметрами, например, стяжных болтов и шпилек мощных прессов, аппаратов высокого давления, гидроагрегатов ГЭС, когда крутящий момент при завинчивании гайки достигает значительной величины и требует для этого специальных затяжных приспособлений.

Так, например, хорошо известен традиционный подход по созданию надежных резьбовых соединений путем предварительного растяжения болта или шпильки путем их подогрева [2]. По указанному способу затяжку проводят при помощи стержневых электронагревателей, вставляемых в отверстия болтов [2], или разъемных муфт, охватывающих болт снаружи [2]. При нагреве контролируют удлинение болта. Далее на нагретый болт навинчивают гайку обычным ключом. После охлаждения болта в результате температурных деформаций в соединении возникает «усилие затяжки». Этот метод обладает рядом недостатков. Во-первых, его трудоёмкость, поскольку требует сверления отверстия в болтах или разъемных муфтах для нагрева болта или шпильки, а также доступа к замеру удлинения болта. Во-вторых, из-за неравномерности нагрева болта невозможно обеспечить после охлаждения необходимое усилие затяжки. Такой достаточно сложный метод создания надежных резьбовых соединений может быть заменен, если научиться использовать для решения этой задачи сплавы с ЭПФ.

Сплавы с эффектами памяти формы (ЭПФ) представляют хороший пример материалов с новыми функциональными свойствами [3]. Необычные физико-механические свойства сплавов с ЭПФ позволяют применять эти материалы в самых разнообразных технических устройствах. В литературе достаточно много работ приведено описанию этого явления [3-6].

Цель данной работе показать возможности использования сплавов с ЭПФ для создания надежных резьбовых соединений с использованием тарельчатой пружины (рис. 1), которые могут быть востребованы в ответственных изделиях в машиностроительной, автомобильной, авиационной промышленности и других отраслях.

Здесь также необходимо отметить, что применение сплавов с ЭПФ позволяет сохранять усилие затяжки. Особенно это относится при затяжке резьбовых соединений с большими номинальными диаметрами, например, стяжных болтов и шпилек мощных прессов, аппаратов высокого давления, гидроагрегатов ГЭС, когда крутящий момент при завинчивании гайки достигает значительной величины и требует для этого специальных затяжных приспособлений.

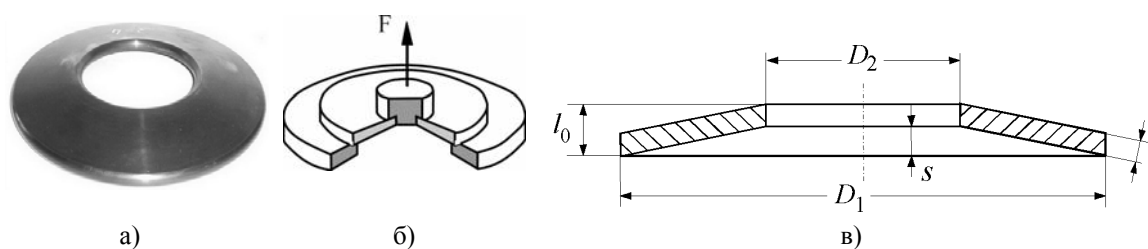


Рис. 1. Тарельчатая пружина по исполнению с параллельными кромками по наружному и внутреннему диаметрам: а – внешний вид; б – схема, показывающая реакцию пружины на внешнее воздействие; в – сечение пружины и ее параметры: l_0 – высота пружины; D_1 и D_2 – наружный и внутренний диаметр пружины соответственно; S – деформация пружины; t – толщина пружины [1]

2. Основные экспериментальные данные о сплавах с эффектами памяти формы

Установлено, что обратимое формовосстановление обусловлено направленным ростом мартенситных кристаллов, которые образовались в результате мартенситного термоупругого превращения при охлаждении и, которые переходят в исходную высокотемпературную фазу (аустенит) в результате обратного мартенситного превращения (МП) при нагреве. Преимущественная ориентация фаз осуществляется вследствие пластической деформации исходной или мартенситной фаз или может быть вызвана МП под действием внешнего напряжения [2].

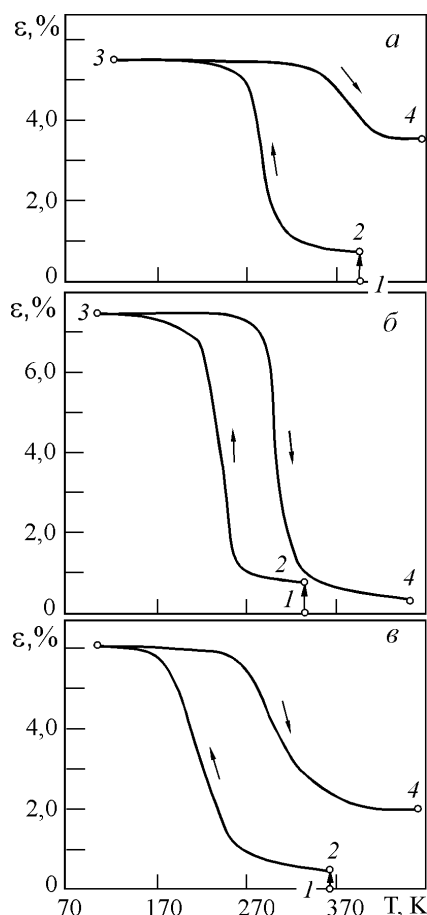


Рис. 2. Накопление и возврат деформации при многократном эффекте памяти формы в сплавах: а – Ti + 49 ат.% Ni; б – Ti + 51 ат.% Ni; в – TiNi + 1 ат.% Mo [2]

Обратимый эффект памяти при охлаждении сплава под нагрузкой приведен на рис. 2. Здесь сплав находился в температурной области с аустенитной фазой (высокотемпературная фаза), но ниже температуры, необходимой для образования МП под нагрузкой. При охлаждении внутреннее напряжение, вызывающее образование мартенсита, снижается, и при определенной температуре становится меньше приложенного внешнего напряжения. После завершения МП дальнейшее понижение температуры приводит только к термическому сжатию образца. Последующий нагрев вызывает обратное МП, и образец вновь восстанавливает исходные размеры.

Величина пластической деформации в сплавах на основе никелида титана с эффектом памяти формы очень чувствительна к химическому составу сплавов. Представленные зависимости на рис. 2 хорошо показывают, что степень восстановления формы при многократном эффекте памяти формы зависит от химического состава. Из приведенных зависимостей практически полным восстановлением формы (на ~ 100%) после деформации на 7,75% обладает сплав Ti + 51 ат.% Ni (рис. 2, б).

Подробно рассмотрим проявление эффекта памяти формы при растяжении образца, которое было проведено при помощи модернизированной испытательной машины типа «Инстрон» [2]. На рис. 2 номера точек на графиках отражают последовательность этапов проведения испытаний на сплавах с ЭПФ. Исходное состояние на графике отражено точкой 1. В состояние 2 образец переводим при помощи приложения внешней растягивающей нагрузки в результате которой образец деформируется на величину порядка 0,5%. В состояние 3 образец переводим при помощи охлаждения до низких температур под нагрузкой. Затем в состояние 4 образец переводим при помощи нагрева до высоких температур.

Сплавы, проявляющие ЭПФ, не относятся к классу линейно-упругих материалов, поскольку им свойственна псевдоупругость [2,4], и у них может отсутствовать линейный участок деформирования. Это явление находит отражение на температурных зависимостях модулей Юнга в сплавах на основе никелида титана (рис. 3).

То, что модуль Юнга таким образом меняется в области температур МП оказывает влияние на силу F , вызываемой действием тарельчатой пружины при ее деформации находит отражение в выражении [1,7]:

$$F = \frac{4Est^3}{(1-\mu^2)YD_1^2},$$

$$\text{где } Y = \frac{1}{\pi} \frac{6}{\ln A} \left[\frac{A-1}{A} \right]^2; \quad A = \frac{D_1}{D_2}; \quad \text{деформация пружины } s, \text{ мм};$$

толщина пружины t , мм; наружный D_1 и внутренний D_2 диаметры пружины соответственно (рис. 1); коэффициент Пуассона $\mu=0,33 - 0,48$ для сплава TiNi [8], модуль нормальной упругости $E=5000-7400$ кгс/мм² для сплава TiNi [8]. И выше приведенной формулы видно, что сила F , вызываемая действием тарельчатой пружины при ее деформации линейно зависит от модуль нормальной упругости E , который меняется от 65 ГПа до 8 ГПа (рис. 3).

Таким образом, можно констатировать, что в температурной области МП сила, вызываемая действием тарельчатой пружины при ее деформации принимает минимальное значение и это приводит к снижению крутящего момента на динамометрическом ключе.

3. Особенности проявления эффекта памяти формы на тарельчатой пружине

В качестве промежуточной детали в резьбовом соединении была выбрана тарельчатая пружина по исполнению с параллельными кромками по наружному и внутреннему диаметрам (ГОСТ 3057-90), выполненная из сплавов на основе никелида титана с характерными размерами для тарельчатых пружин (рис. 1).

На рис. 4 представлено схематически этапы изменения формы тарельчатой пружины из никелида титана после цикла охлаждение→деформация→нагрев.

Согласно приведенной на рис. 4 схеме в эксперименте по использованию ЭПФ для усиления затяжки при помощи тарельчатой пружины проводили по следующей схеме. Тарельчатую пружину устанавливали по месту и при помощи паров жидкого азота охлаждали до температур порядка – 120 °С. Затем устанавливали гайку и проводили ее затяжку до тех пор, пока тарельчатая пружина не приняла вид плоской шайбы.

Снижение крутящего момента на динамометрическом ключе достигали за счет уменьшения модуля Юнга в области МП. Гайку достаточно завернуть лишь до контакта с соединяемой деталью. В данном резьбовом соединении при завинчивании гайки, охлажденная до температур порядка –120 °С тарельчатая пружина, деформируется в плоскую шайбу (рис. 4), а когда резьбовое соединение принимает температуру окружающей среды, плоская шайба пытается вернуться в свое первоначальное исходное состояние создает необходимое и достаточное усилие затяжки резьбового соединения.

В случае разборки резьбового соединения тарельчатую пружину необходимо вновь охладить парами жидкого азота. Свинчивание гайки после охлаждения не вызывает затруднений.

Эксперимент показал, что способ затяжки прост в исполнении, промышленно применим и позволяет при монтаже крупных резьбовых соединений в неудобных для монтажа условиях отказаться от сложных механизмов и приспособлений для затяжки резьбовых соединений.

Испытания показали, что усилие затяжки по предложенному способу зависит от параметров шероховатости поверхности опорных торцов, шероховатости поверхности витков, допускаемых отклонений средних диаметров резьбы болта и гайки, наличия смазки и размеров тарельчатой пружины. Поэтому для каждой партии резьбовых соединений целесообразно предварительно опытным путем определить величину крутящего момента для динамометрического ключа.

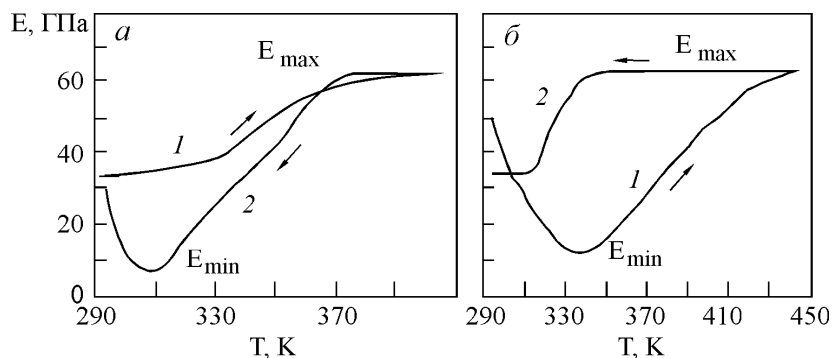


Рис. 3. Зависимости модуля Юнга, определяемого по нагрузке от температуры в полном интервале МП: *a* – при нагрузке; *б* – разгрузке [4]

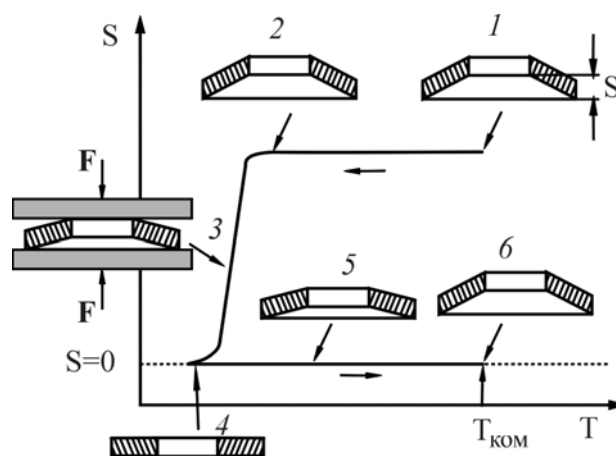


Рис. 4. Температурная зависимость деформации пружины S в цикле: охлаждение → деформация → нагрев. Схематическое представление проявления ЭПФ на тарельчатой пружине: *1* – исходное состояние при комнатной температуре; *2* – пружина в области низких температур; *3* – изменение формы пружины в области низких температур в результате внешних механических воздействий; *4* – конечная формы пружины после деформации; *5* – промежуточные формы пружины при нагреве к $T_{ком}$; *6* – форма пружины после цикла охлаждения → деформация → нагрев

В заключении необходимо отметить, что в настоящее время известно большое количество сплавов, обладающих ЭПФ в различных температурных интервалах и различной полнотой ЭПФ (величиной недовозврата). Это сплавы на основе TiNi (Ti–Ni–Fe, Ti–Ni–Cu, Ti–Ni–Co, Ti–Ni–Al, Ti–Ni–Mn, Ti–Ni–Pd, Ti–Ni–Pt), Cu (Cu–Sn, Cu–Zn, Cu–Zn–Sn, Cu–Zn–Al, Cu–Al, Cu–Al–Ni, Cu–Mn–Al, Cu–Au–Zn), Mn (Mn–Cu, Mn–Ni, Mn–Ge, Mn–Ga), Fe (Fe–Ni, Fe–Ni–Ti, Fe–Mn, Fe–Pt), Ag (Ag–Cd, Ag–Zn) и др. [2,9]. Это позволяет в зависимости от экономической целесообразности, температурного интервала и надежности, которая требуется при эксплуатации изделий, использовать соответствующие сплавы с ЭПФ для изготовления тарельчатых пружин.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственного задания Минобрнауки № 11.351.2014/К и по проекту "Программы повышения конкурентоспособности ТГУ".

Литература.

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. Жестковой И. Н. – М.: Машиностроение. – 2006. – 928 с.
2. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., и др. Медицинские материалы с памятью формы. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Томск: ООО «НПП «МИЦ». – Т.1. 2011. – 534 с.
3. Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Шарловский Ю.В. Затяжка и стопорение резьбовых соединений. М.: Машиностроение. – 1985. – С.63-66.

4. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Тарсин А.В. Влияние фактора термоциклирования и знака нагружения на величину фазовых модулей никелида титана//Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т.75, №4. – С.42-44.
5. Клопотов А.А., Гюнтер В.Э., Малеткина Т.Ю. Влияние деформации и внешней нагрузки на характеристики мартенситных превращений и эффекты памяти формы в сплавах на основе никелида титана// Прикладная механика и техническая физика. – 1998. – Т.39. №2. – С.173-179.
6. Матюнин А.Н., Клопотов А.А., Гюнтер В.Э. //Влияние легирования кобальтом на характеристические температуры и параметры эффекта памяти формы в сплаве ТН-10 //Материалы с памятью формы и новые технологии в медицине. – МИЦ: Томск. – 2010. – С.319-321.
7. ГОСТ 3057–90. Пружины тарельчатые. Общие технические условия. – М.: ИПК стандартов. – 2003.
8. Гюнтер В.Э., Дамбаев Г.Ц., Сысолятин П.Г. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. –Томск: ТГУ. – 1998. – 486 с.
9. Тихонов А. С., Герасимов А. П., Прохорова И. И. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении.— М.: Машиностроение. – 1981. – 80 с.

СЕКЦИЯ 4: ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СИСТЕМА ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.В. Булкин, д.т.н., проф., И.Н. Кириллов, инж.

Муромский институт Владимирского государственного университета

602264, г. Муром, ул. Орловская, 23, тел. (49234)-77-253

E-mail: lwb-kipra@mail.ru

Введение

Проблемы любого современного машиностроительного производства определяются сложной совокупностью различных процессов и задач. Их систематизация была проведена в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» [1]. Основные процессы, связанные с производством, систематизированы и сведены к следующим: процессы соглашения; процессы предприятия; процессы проекта; технические процессы.

Процессы предприятия наряду с управлением качеством, инвестициями, ресурсами, включают и управление средой предприятия [2]. В это понятие входит и охрана труда.

Вопросы охраны труда на машиностроительном предприятии предусматривают исследование опасных факторов, определение степени их опасности для работников предприятий, разработку мероприятий по снижению уровня опасности и внедрение системы техники безопасности и охраны труда. Такой подход относится как к общеизвестному перечню опасных факторов, так и к специфическим загрязняющим веществам или воздействиям, характерным для конкретного производства.

Среди вредных факторов не последнее место занимает акустический шум, присутствующий чаще всего в закрытых помещениях с активным процессом механического производства. Однако в зависимости от степени активности работы предприятия, обширности территории и наличия открытых площадок с активным строительством и автодвижением, акустический шум может являться значимым воздействующим фактором и на открытых пространствах. Кроме того, если предприятие расположено в городской среде и не оборудовано надежной защитой от распространения шума вглубь урбанизированной территории, проблема контроля и прогноза распространения шумового сигнала может иметь большое значение. При этом дополнительным фактором, влияющим на характер распространения шумового сигнала, становится метеорологическая обстановка в районе расположения предприятия, всегда имеющая характерные локальные особенности [3,4].

В докладе рассмотрены проблемы построения системы мониторинга уровня акустического шума на открытых производственных площадках и результаты анализа акустического загрязнения на урбанизированных территориях, проведенного с использованием разработанной системы.

Проблемы контроля акустического шума

Для правильной оценки действительного уровня шума и его возможного влияния на окружающую среду очень важно с высокой вероятностью определить уровень затухания звука на местности, поскольку это обеспечит возможность выработки прогноза распространения его вглубь территорий.

Затухание звука чистого тона в свободном пространстве (атмосфере) характеризуется коэффициентом затухания, зависящим не только от факторов окружающей среды, но и от физических характеристик шума: вектора параметров звука $\vec{I}_n = \{F, A\}$, F – частота, A – амплитуда (мощность) сигнала; вектора параметра температуры воздуха \vec{T}_n ; вектора параметра влажности воздуха \vec{H}_n ; вектора параметра атмосферного давления \vec{P}_n ; вектора параметров ветра $\vec{V}_n = \{N, c\}$, N – направление ветра, c – скорость ветра; S – параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения, инженерные конструкции и т.д.).

Оценку возможного влияния метеорологических параметров на характер распространения акустического сигнала проводят по изменению коэффициента затухания. В докладе рассматриваются результаты моделирования влияния метеорологических параметров на распространение звука в среде. При этом учитывались три основных параметра: температура, влажность и давление. Анализ проводился без учёта влияния стационарных параметров среды (экраны, поглотители и пр.), а так же без учёта влияния вектора параметров ветра \vec{V}_n . По результатам моделирования можно сделать вывод, что наибольшее влияние на затухание сигнала оказывает изменение температуры окружающей сре-

ды: например, изменение параметра \bar{T}_n в пределах от $-20\text{ }^\circ\text{C}$ до $+30\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к изменению A_{atm} в пределах от 29 дБ/км до 170 дБ/км на частоте 10000 Гц, от 25 до 65 дБ/км на частоте 4000 Гц, от 10 до 30 дБ/км на частоте 2000 Гц.

Рассматривается система, основанная на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической. Контроль шума будет осуществляться пассивным акустолокатором. Метеорологическая информация включает данные о температуре окружающей среды, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для получения данных о параметрах ветра используется т.н. активный канал, реализованный на принципе активной локации, т.е. излучении зондирующего сигнала, приёме сигнала отражённого и соответствующей его обработке.

Таким образом, система должна состоять из двух каналов, пассивного и активного, иметь блок обработки данных [5].

Построение системы

Построение такой системы обосновано в [6].

Пассивный канал построен по принципу пассивного акустического локатора, обеспечивающего приём акустических сигналов, распространяемых в исследуемом пространстве. Датчиком служит конденсаторный микрофон. Цепь усиления и обработки сигналов имеет автоматическую регулировку усиления, что позволяет значительно расширить динамический диапазон измерений. Для защиты полезного сигнала от высокочастотных помех применён фильтр низких частот. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и поступает в сигнальный процессор, а затем через USB порт передаётся в персональный компьютер для окончательной обработки.

Главное достоинство устройства в сравнении со стандартной схемой измерения шумомером заключается в том, что переход от амплитудно-временной характеристики к амплитудно-частотной реализуется на аппаратном уровне алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Использование БПФ даёт возможность наблюдать и отслеживать не средние значения в заданной полосе частот, как это и происходит в стандартных шумомерах, а узкополосные амплитудные всплески на различных частотах, зачастую находящиеся на краях октавного диапазона. Кроме того, рассматриваемый измерительный канал позволяет с большей, чем в стандартной схеме, точностью определить значения частоты и амплитуды пиков.

Основу активного канала составляет акустолокатор. Для измерения скорости ветра применяется антенная система, состоящая из трёх ультразвуковых элементов, расположенных в горизонтальной плоскости по схеме равностороннего треугольника. Каждый элемент последовательно выполняет функции излучателя и приёмника. Сигнал излучается в двух направлениях, принимается приёмниками и осуществляется сложение векторов профилей составляющих скорости ветра. Затем функции излучателя передаются другому элементу антенны.

Функционально канал состоит из двух измерительных трактов: тракт для измерения состояния среды и тракт для измерения параметров движения воздушных масс.

Измерительный тракт состояния среды состоит из набора датчиков и обеспечивает канал информацией о температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении. Измерительные датчики передают информацию на центральный процессор последующей обработки.

Центральный процессор активного канала через шину данных USB передает метеорологическую информацию в ПК.

Вычисляемые скорости и направления ветра не зависят от высоты, температуры и влажности, которые уравниваются, когда время прохождения измеряется в обоих направлениях, хотя каждое по отдельности время прохождения сигнала зависит от этих параметров.

На рис.1 показаны основные компоненты системы.



Рис. 1 Эколого-метеорологическая измерительная система

Результаты мониторинга техногенных зон

В докладе рассматриваются некоторые результаты обследования урбанизированных территорий. На рис. 2. представлен один из результатов контроля уличного шума на городской территории, непосредственно примыкающей к открытой производственной площадке, являющий собой мгновенный срез спектрограммы шума. Вертикальными линиями выделены граничные полосы частот с треть октавным фильтром в зоне максимальной чувствительности человеческого уха, в которые попадает участок с амплитудным всплеском. Горизонтальными линиями показано усреднённое значение амплитуды в данном диапазоне, т.е. именно то значение, которое и зафиксируется обычным шумомером.

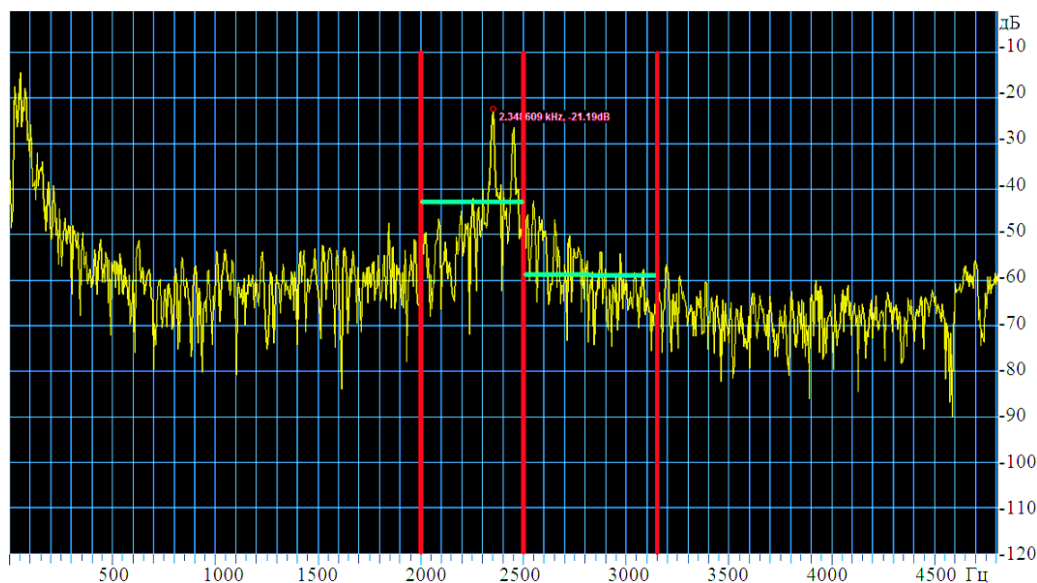


Рис. 2. Мгновенный срез спектрограммы

Из рисунка видно, что разница между амплитудой всплеска и средним значением, которую не зафиксирует шумомер, может достигать до 20 дБ.

Анализ зависимости коэффициента затухания в атмосфере от частоты при нормальных условиях (температура воздуха 293,15 К (20°C), влажность 70%, давление 101,325 кПа) показывает, что ошибка оценочных расчётов распространения звука на местности составит порядка 1-2 км, что в условиях урбанизированных территорий является недопустимым.

Спектральный анализ шумов на рассматриваемой территории показывает, что большой процент всех шумов составляют именно непостоянные, в том числе непродолжительные узкополосные амплитудные всплески, уровень которых достигает до 20-30 дБ от уровней постоянного шума.

Заключение

Акустический шум является одним из экологических загрязнителей окружающей среды любого крупного машиностроительного предприятия. Наличие узкополосных амплитудных акустическо-шумовых выбросов на частотах, не соответствующих средним частотам долектавных диапазонов, позволяет предположить, что оценка уровня акустическо-шумового загрязнения, полученная по принятым методикам, не обеспечит учёт импульсных сигналов, достаточно часто встречающихся в реальной обстановке. Разработанная система эколого-метеорологического мониторинга лишена указанных недостатков и обеспечит более достоверный прогноз, что позволит предпринять адекватные действия по защите от акустического шума.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-08-00186 и во взаимодействии с Администрацией округа Муром Владимирской области.

Литература.

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем». – М.: Стандартинформ, 2006. –С.54.
2. Остроух А.В., Тянь Ю. Автоматизированная система мониторинга производственно-технологической и организационно-экономической деятельности промышленного предприятия / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, №3, 2014. -С.14-21.

3. Smit K. Principles of Applied Climatology. -McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, London, 1975.
4. Булкин А.В., Булкин В.В., Григорюк Е.Н. Анализ возможного влияния распределения ветровых потоков на характер распространения загрязняющих веществ в окрестностях Муром / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012, №2(12). –С.16-19.
5. Булкин В.В. Проблемы построения пассивно-активных контрольно-диагностических комплексов для систем управления метеорологическими и метеозависимыми процессами / Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. №3, 2005. С.43-50.
6. Булкин В.В., Беляев В.Е., Кириллов И.Н. Модель пассивно-активной акустолокационной эколого-метеорологической системы / Проектирование и технология электронных средств, 2011, №1. – С.16-19.
7. Булкин В.В., Кириллов И.Н., Беляев В.Е. Пассивный канал пассивно-активной системы мониторинга урбанизированного пространства / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2012. –С.47-51.

РАЗВИТИЕ МОНОГОРОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ

*Г.Д. Антонов, д.э.н., проф., О.П. Иванова, д.э.н., проф., И.С. Антонова, к.э.н., доц.
Томский политехнический университет*

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56

E-mail: gda-kuzbass@rambler.ru, prof-ivanova@rambler.ru, antonovais@tpu.ru

Введение

Перед устойчивым развитием современных городов стоят следующие вызовы: климатические изменения, зависимость от автотранспорта, быстрая урбанизация, мультикультурализм, финансовый кризис, социальное неравенство, рост городов, изменение роли местного самоуправления и т.д. [1]. Большое разнообразие населенных пунктов не позволяет предложить единого подхода к решению проблем городов. К особым видам населенных пунктов можно отнести так называемые «моногорода». Моногород - это город, созданный на основе одной градообразующей отрасли, которая была эффективна некоторое время назад, выполняя конкретные цели государства. Сегодня большинство таких городов стоят перед необходимостью диверсификации данной отрасли. Так происходит и с городом Юрга, Кемеровской области, вынужденным проводить реструктуризацию своей экономики от комплекса машиностроительной моноотрасли к диверсифицированной устойчиво развивающейся экономике.

Градообразующее предприятие концентрирует основную часть рабочей силы и является основным налогоплательщиком города, производя не менее половины общего объема продукции города. Так что кризис градообразующего предприятия означает депрессию для всего моногорода. В этом случае градообразующее предприятие будет значительно влиять на экономическое благосостояние граждан. В настоящее время в России насчитывается 335 моногородов и четверть населения, проживающее в них, для сравнения в США - более 2500 моногородов, в которых проживает 3% населения. Большинство проблем моногородов связано с экономическим выживанием, потому что эти поселения являются зависимыми от финансовой стабильности и политики одного градообразующего предприятия. Примером может быть банкротство Детройта, некогда центром автомобильной промышленности США. Именно поэтому сегодня для многих моногородов машиностроительного комплекса, таких как Юрга, стоит остро задача диверсификации экономики.

Основным способом снижения риска, который принимается во внимание в статье, является диверсификация экономики и моноотрасли города, что предполагает разработку, реализацию инвестиционных проектов и привлечение инвесторов. При этом предложенные проекты должны учитывать интересы всех сторон: жителей, инвесторов, градообразующего предприятия, администрации и малого бизнеса. Цель исследования - предложить подход к управлению инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода и оценить на его основе возможность включения в программу диверсификации инвестиционных проектов, призванных реструктурировать машиностроительную моноотрасль города Юрги.

Моногород в теории и на практике

Определение. Понятие «моногород» все еще является предметом научных дискуссий. Согласно словарю Мэриам-Уэбстер моногород - это населенный пункт, который зависит от одного предприятия обеспечивающего все или большую часть необходимых услуг или функций городской

жизни (занятость, жилье, и магазины). Его жители находятся в зависимости от экономической поддержки одной фирмы, причем город в основном построен для сотрудников компании. Всемирно известными примерами моногородов являются Купертино (компания «Эппл»), Дирборн (компания «Форд»), Редмонд («Микрософт»), которые полностью зависят от успешных сегодня компаний.

Грин, используя термин «монопрофильный населенный пункт» («single-company community»), - подчеркивает социальный статус градообразующего предприятия и его глубокую взаимосвязь с обществом [2]. Промышленную сущность моногорода, его разнообразные и необходимые функции подчеркиваются Дениусом и Вергара [3]. Карлсон использует термин «город на основе градообразующего предприятия» («company-dominated towns»), чтобы продемонстрировать основную характеристику моногорода. Исследование автора строится на широком практике создания моногорода «одним боссом» («built by the boss»)[4]. Грин [2] определяет две базовые модели моногородов: ориентированная на прибыль и расходы на благосостояние кадров (“exploitationville”) и модель социально ответственного города (“socially benign”). Последняя модель предполагает развитие школ, больниц, парков, и обеспечение жильем своих работников. Данная идея реализована в «городской модели» Пуллмана [5]. Таким образом, зарубежные авторы в большинстве случаев касаются того, как согласовать противоположные интересы бизнеса и граждан моногорода, отношения между людьми в городах, а также исторический аспект развития моногородов, в то время как термин «моногород» остается неоднозначным. Так, не определены четкие критерии выделения моногорода их числа городов. В отличие от российских авторов, которые в своих исследованиях выделяют четкие критерии отнесения городов к монопрофильным. В целях дальнейшего исследования под моногородом предлагается понимать поселение моноотраслевого типа, удаленное от основных рынков сбыта и неразрывно связанное с градообразующим предприятием в социальной жизни и экономике.

Выбор Критериев. В российской практике в настоящее время определение критериев – это основа для дальнейшего исследования путей развития моногородов. Российские моногорода заинтересованы в особом моностатусе в связи с дальнейшими государственными преференциями и финансированием. Так что, важность выбора критериев очевидна. Так, город может иметь статус моногорода, если соответствует хотя бы одному из следующих критериев: (1) градообразующая компания производит 50% и более промышленной продукции города; (2) коэффициент занятости населения - не менее 0,25 (или более 5000 человек); (3) отчисления градообразующего предприятия в бюджет составляет 20% и более в общем объеме бюджетных доходов города; (4) градообразующие предприятие имеет на балансе 30% и более социальных и коммунальные активы города.

Дальнейшее развитие моногорода зависит от готовности диверсифицировать моноотраслевую структуру города, чему должен предшествовать выбор: модернизация непосредственно градообразующего предприятия или диверсификация всей экономики, что предполагает кардинальные комплексные изменения. В противном случае моногороду грозит деградация и дальнейшее исчезновение. В статье рассмотрен подход, основанный именно на диверсификации экономики моногорода и предполагающий разработку и реализацию инвестиционных проектов.

Алгоритм разработки и реализации проектов диверсификации

Алгоритм разработан на основе этапов диверсификации компании, которые глубоко изучены М. Месконом, И. Ансофом, Д. Аакером, Д. Томпсоном, Э. Стриклендом и др. и широко применяются в российской и зарубежной практике. Между тем процесс диверсификация экономики моногорода имеет свои природные особенности, и это учтено в разработанном алгоритме. К специфическим особенностям моногорода следует отнести следующее: специфика проблем развития, которые можно описать, как «снежный ком»: проблемы градообразующего предприятия (отсутствие модернизации, неэффективность управления, отсутствие рынков сбыта, низкая конкурентоспособность товаров, производимых градообразующим предприятием и др.), проблемы города (нехватка бюджетных ресурсов и несбалансированное распределения средств между бюджетами, низкая инвестиционная привлекательность, отсутствие информации о текущей ситуации моногорода и др.). Кроме того, проблемы региональной и государственной экономики, а также макро-экономические факторы могут повлиять на процесс диверсификации.

В настоящее время наиболее распространенным инструментом для диверсификации процесса в городах России является Комплексная программа модернизации моногорода (КИПММ), которая подразумевает разработку стратегии развития моногорода от целей до мероприятий по ее реализации. Анализ разработанных КИПММ позволил сформировать алгоритм и уточнить основные этапы разработки и реализации проектов диверсификации экономики моногорода.

Предложенный алгоритм включает следующие шаги по разработке проектов и их реализации:

I этап - анализ окружающей среды (внутренней и внешней) моногорода. С одной стороны, анализ окружающей среды должен быть направлен на решение основных проблем градообразующих предприятий, которые препятствуют процессу диверсификации: недостаток рынков сбыта, производство устаревшей неконкурентоспособной продукции, низкая эффективность производства и др. С другой стороны, в ходе исследования необходимо провести анализ социальной ситуации (демографии, трудоустройства). Основное отличие анализа для моногорода заключается в том, что он может быть рассмотрен как с позиции города, так и предприятия. Поэтому, к примеру, анализ внешней среды будет включать в себя возможности и угрозы как города, так и предприятия.

II этап - постановка целей и задач диверсификации экономики моногорода. На данном этапе происходит формулирование цели и задач диверсификации, что становится в дальнейшем ориентиром при разработке критериев отбора стратегических альтернатив диверсификации экономики моногорода. С целью решения поставленных проблем в алгоритме уточнена процедура постановки целей и задач диверсификации экономики моногорода. Так, помимо согласования цели и задач диверсификации экономики моногорода с целями и приоритетными направлениями стратегического развития страны, региона и города, приоритетными направлениями реструктуризации промышленности и отраслевых комплексов (согласование «по вертикали») предложено осуществлять согласование с целями и представлениями населения, собственников градообразующего предприятия, органов местного самоуправления и представителей малого бизнеса (согласование «по горизонтали»).

III этап - поиск и анализ стратегических альтернатив диверсификации экономики моногорода. Целью данного этапа является определение приоритетных направлений диверсификации экономики моногорода, в связи с чем требуется решить следующие задачи: выявить конкурентные преимущества моногорода на основе выделенных на предыдущем этапе потенциалов и ограничений развития экономики моногорода; определить возможные стратегические альтернативы диверсификации экономики моногорода; определить приоритетность реализации каждого из выделенных стратегических альтернатив диверсификации экономики моногорода.

IV этап - определение критериев оценки стратегических альтернатив как этап алгоритма определения направлений диверсификации экономики моногорода имеет целью разработку критериев оценки инвестиционных проектов диверсификации экономики моногорода. Задачами этапа являются определение субъектов, заинтересованных в данной оценке; определение значимости различных критериев для различных субъектов оценки; разработка критериев для применения в целях оценки проектов диверсификации экономики моногорода.

На основе проведенного исследования и систематизации существующих критериев оценки проектов, все критерии предлагается разделить на два уровня оценки – критерии предварительного отбора проектов и критерии оценки эффективности диверсификации экономики моногорода на основе проектов, прошедших предварительную оценку и удовлетворяющих минимальным требованиям развития экономики моногорода. Первая группа критериев оценки: соответствие целей проекта целям и задачам диверсификации экономики моногорода, соответствие проекта приоритетным направлениям диверсификации экономики моногорода, качество подготовки проекта, период осуществления проекта, источники финансирования проекта, ожидаемые экономические результаты проекта, ожидаемые социальные результаты проекта, ожидаемое экологическое влияние проекта, синергетический эффект инвестиционного проекта с другими проектами. Вторая группа критериев направлена на оценку: (1) привлекательности проекта для инвесторов и города, и (2) направления диверсификация моногорода после реализации проекта. Для применения критериев второй группы авторами предложен интегральный показатель инвестиционной привлекательности проекта диверсификации экономики моногорода, представленный в методике, приведенной далее.

V этап – подготовка и экономическое обоснование проектов диверсификации экономики моногорода. Этот шаг предлагается проводить с помощью показателей эффективности: социальной, экономической и экологической.

VI этап - отбор инвестиционных проектов диверсификации экономики моногорода осуществляется, исходя из подготовленных инвестиционных проектов группой экспертов. Группа экспертов может быть создана при Администрации города и должна представлять согласованные ожидания и требования представителей городского сообщества.

Завершающими этапами алгоритма являются: реализация и мониторинг программы диверсификации, оценка эффективности и разработка предложений по корректированию программы дивер-

сификации экономики моногорода. Данный алгоритм представляет собой часть системы, которая призвана сформировать привлекательные проекты диверсификации для конкретного инвестора.

Механизм управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации

Под механизмом управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода предлагается понимать систему методов, инструментов и процедур взаимодействия моногорода и инвестора в процессе разработки и реализации проектов диверсификации экономики моногорода. Механизм управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода предполагает следующие элементы: цель и задачи, субъекты, объект, методы, инструменты и процедуры управления. Цель механизма управления инвестиционной привлекательностью проекта диверсификации экономики моногорода - привлечение инвестиций для реализации проектов диверсификации экономики моногорода. К задачам механизма предлагается отнести получение информации о требованиях инвесторов; формирование инвестиционной привлекательности моногорода; формирование инвестиционной привлекательности проекта диверсификации экономики моногорода. Создание привлекательных условий для потенциального инвестора позволит обеспечить инвестиционную привлекательность проекта диверсификации, а разработка проектов – повысит привлекательность моногорода. В связи с чем, механизм управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода предполагает: 1) управление инвестиционной привлекательностью моногорода для создания условий привлечения инвестиций для реализации проектов диверсификации; 2) управление инвестиционной привлекательностью проектов на основе оценки степени согласованности данных проектов с точки зрения инвестора и моногорода в целом.

В данной связи, объект управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода предлагается рассматривать на двух уровнях: инвестиционная привлекательность проекта диверсификации и инвестиционная привлекательность моногорода. При этом субъекты управления инвестиционной привлекательностью проектов диверсификации экономики моногорода: органы местного самоуправления, региональные и государственные органы управления, а также городской информационный центр, осуществляющий общее информационное обеспечение. Помимо этого субъектами управления инвестиционной привлекательностью проектов являются непосредственно разработчики проектов.

На первом этапе принятия решения по поводу инвестирования средств в определенный проект инвестор находится в состоянии отсутствия информации по поводу возможного варианта инвестиций. С другой стороны, существует моногород с присущими ему проблемами, которые призвана решить диверсификация его экономики. Проблемы моногородов на сегодняшний день освещены широко в российской прессе, в зарубежной практике накоплен определенный опыт в решении данных проблем. В связи с чем, на данном этапе представления инвестора о моногороде будет иметь резко негативный характер: отсутствие четко сформулированного предложения по инвестированию; чрезвычайно высокий уровень рисков; депрессивный характер экономики и совокупность проблем развития моногородов и прочее.

На втором этапе согласования интересов инвестора и моногорода происходит формирование инвестиционной привлекательности моногорода для потенциального инвестора. Вся совокупность инструментов регулирования инвестиционной деятельности можно подразделить на организационные (административные), экономические и правовые.

Окончательный перечень инструментов выбирается после проведения оценки инвестиционной привлекательности и согласованности интересов участников инвестиционных проектов на третьем этапе. В результате чего разрабатываются предложения по улучшению их привлекательности, что находит отражение в положениях совершенствования инвестиционной политики моногорода. Основным инструментом в данной связи предлагается использовать методику оценки инвестиционной привлекательности проектов диверсификации экономики моногорода, разработанную авторами.

Методика оценки инвестиционной привлекательности проектов диверсификации

В рамках методики оценки инвестиционной привлекательности проектов диверсификации экономики моногорода уточнены критерии и предложена методика расчета интегрального показателя инвестиционной привлекательности проекта диверсификации экономики моногорода по следующей формуле:

$$I = I_1 \cdot K_1 + I_2 \cdot K_2 + I_3 \cdot K_3, \quad (1)$$

где I – интегральный показатель инвестиционной привлекательности проекта диверсификации экономики моногорода, I_1, I_2, I_3 – показатели инвестиционной привлекательности города, отрасли и проекта соответственно; K_1, K_2, K_3 – весовые коэффициенты, отражающие значимость фактора инвестиционной привлекательности города, отрасли и проекта для инвестора в интегральной оценке, причем $\sum_{i=1}^n K_i = 1$.

$$I_i = P_i \cdot k_i^p - R_i \cdot k_i^r \quad (2)$$

где P_i – инвестиционный потенциал города, отрасли и проекта; R_i – инвестиционный риск города, отрасли и проекта; k_i^p – весовой коэффициент, отражающий значимость фактора инвестиционного потенциала соответствующего уровня для инвестора, и k_i^r – весовой коэффициент, отражающий значимость фактора инвестиционного риска соответствующего уровня для инвестора, причем $k_i^p + k_i^r = 1$.

$$P_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot k_{ij}^p, \quad (3)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot k_{ij}^r, \quad (4)$$

где P_i, R_i – показатели инвестиционного потенциала и риска, p_{ij} и r_{ij} – средние балльные оценки j -го фактора инвестиционного потенциала и риска соответственно; k_{ij}^p и k_{ij}^r – весовые коэффициенты, отражающие значимость j -го фактора инвестиционного потенциала и риска для инвестора соответственно, m и n – число факторов инвестиционного потенциала и инвестиционного риска соответственно. При этом сумма весовых коэффициентов по каждому j -му фактору равна 1.

Балльная оценка предполагает присвоение 0, либо 1 балла. К примеру, показатель «объем промышленного производства» будет оценен в 1 балл в случае удовлетворения критерию «положительная динамика объема промышленного производства в городе за 5 лет» и 0 баллов при удовлетворении совокупности критериев: «отсутствие положительной динамики объема промышленного производства за 5 лет» и «коэффициент вариации объема промышленного производства не превышает 0,35». Причем «отрицательная динамика объема промышленного производства за 5 лет» рассматривается в качестве инвестиционного риска и оценивается 1 балл, при этом в формуле (2) данные балльные оценки вычитаются.

Методика была применена для оценки проектов, предложенных для реализации в целях диверсификации машиностроительной отрасли города Юрги Кемеровской области: строительство предприятия «ДСК XXI век», строительство завода по производству минераловатных плит, строительство предприятия «Мусоросортировочный комплекс». На основе предложенной методики оценки инвестиционной привлекательности проектов диверсификации экономики моногорода определена степень соответствия данных проектов требованиям двух видов инвесторов: венчурного и стратегического. Стратегический инвестор ориентирован на долгосрочные инвестиции, средний риск, умеренную доходность, имеет специальные знания, опыт и контакты. Венчурный инвестор ориентирован на высокий и очень высокий риск и соответствующую доходность в 50% и более на вложенный капитал, он рассчитывает осуществлять контроль над инвестируемой компанией. Результаты интегральной оценки инвестиционной привлекательности проектов диверсификации экономики моногорода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Интегральный показатель инвестиционной привлекательности проектов диверсификации экономики для различных инвесторов

	Венчурный инвестор	Стратегический инвестор
«ДСК XXI век»	-0,0210	-0,1867
Завод минераловатных плит	0,0074	-0,1838
Мусоросортировочный комплекс	0,1635	-0,1881

В соответствии с полученными значениями интегрального показателя все проекты имеют отрицательную или низкую привлекательность для рассматриваемых групп инвесторов, в то время как «Мусоросортировочный комплекс» имеет самый высокий индекс. Тем не менее, разработанная методика

дает возможность оценить инвестиционную привлекательность проектов диверсификации, описать портрет потенциального инвестора для каждого проекта и предложить мероприятия по повышению инвестиционной привлекательности. Для этих целей следует учитывать частные показатели индекса.

В целом, реализация указанных трех проектов позволила бы создать 440 новых рабочих мест, привлечь дополнительные средства в бюджет в размере 2,5 млн руб. в год, а также увеличить объем производства ежегодно минимум на 1% (прежде всего в результате реализации проекта «ДСК XXI век»). Однако реализация только этих проектов не позволит полностью перейти от доминирующей машиностроительной и металлообрабатывающей отрасли города к диверсифицированной структуре экономики, однако является первым этапом к тому.

Литература.

1. Time to think urban. United nation's human settlement program. Date Views Jul. 6, 2014 www.unhabitat.ru/assets/files/publication/Time%20to%20think.pdf.
2. H.Green, The Company Town: The Industrial Edens and Satanic Mills That Shaped the American Economy. New York: Basic Books, 2010, pp. 7-27.
3. Company Towns in the Americas: Landscape, Power, and Working-Class Communities (Geographies of Justice and Social Transformation) / Edited by Oliver J. Denius, Angela Vergara, Athens, Georgia: University of Georgia Press, 2011, pp. 1-45.
4. Clarson, L., Company towns of the Pacific Northwest. Washington, DC: University of Washington press, 2003, pp. 3-13.
5. Burder S., Pullman: An Experiment in Industrial Order and Community Planning, 1880-1930 (Urban Life in America). New York: Oxford University Press, 1970, pp. 49-106
6. Cardiff Bay Economic Development, Cardiff: Cardiff Council, April 2005, p. 8

ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.А. Трифонов, к.э.н., доц.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел/факс: 8(384-51) 6-26-83
E-mail: v.trifonov@rambler.ru*

Переход к инновационной экономике машиностроения – актуальная тема сегодня, ее движущая сила – конкуренция. Современные машиностроительные предприятия внедряют новые технологии, переоснащают производство, совершенствуют кадровую и социальную политики. Обретая конкурентные преимущества, они повышают сопротивляемость к макроэкономическим изменениям, получают возможность работать на сложном современном рынке.

В России в условиях развития рыночных отношений следует применять мировой теоретический и практический опыт ведения конкурентной борьбы. К сожалению, на сегодня большинство отечественных предприятий машиностроения еще не готовы к активному ведению конкурентной борьбы с зарубежными предприятиями не только на мировом, но и на внутреннем рынке.

Несмотря на имеющееся к настоящему времени большое количество работ, посвященных оценке конкурентоспособности предприятий, среди них не предлагается методики, отличающейся своей надежностью. Поэтому основной задачей ставится выбор оценки конкурентоспособности машиностроительного предприятия посредством методического подхода формирования дифференцированных цен товаров.

Конкурентоспособность предприятия – это относительная характеристика, которая выражает отличия развития данной фирмы от степени удовлетворения своими товарами потребности людей и по эффективности производственной деятельности конкурентоспособность предприятия характеризует возможности и динамику приспособления к условиям рыночной конкуренции [1].

В основе отраслевой конкуренции лежит стремление предприятий к получению максимальной прибыли, поиску наиболее выгодной сферы приложения капитала. Экономическая теория оценивает уровень конкуренции машиностроительных предприятий на том или ином рынке по различию ("дифференциации") цен товаров.

Как известно, дифференциация цен товаров является важнейшим элементом ценовой политики предприятия, призванным увеличить долю рынка, повысить конкурентоспособность и стимулировать спрос на свою продукцию.

Дифференциация цен товаров может осуществляться по разным принципам: ценовая дискриминация, по географическим признакам, с учетом системы скидок, объема продаж и др.

Предлагаемый автором методический подход установления дифференцированных цен товаров основан на применении математической модели потребителя, которая учитывает цену товара, доход потребителя и полезность от потребления товара.

В общем случае он предполагает выполнение следующей последовательности работ:

1. выбор принципа дифференциации цен товара;
2. сегментация потребителей с точки зрения уже выбранного принципа дифференциации;
3. определение объема предложения товара для каждого сегмента;
4. установление уровня цены товара для каждого сегмента.

Данная методика обеспечивает выполнение двух конечных условий:

– полную реализацию выпуска, т.е. доведение всего объема выпущенной продукции предприятия до потребителя;

– получение фирмой суммарного (по всем сегментам) дохода большего, чем при рыночной цене.

Побудительной причиной для дифференциации цены товара является невозможность продажи всего выпуска по рыночной цене.

Следовательно, спрос по этой цене меньше предложения и у предприятия образуется избыточный продукт (ΔY). Реализация избыточного продукта по цене меньшей, чем рыночная, возможна, но убыточна.

Поэтому целесообразно продать весь товар по дифференцированным ценам так, чтобы суммарная выручка была бы не меньше, чем при рыночной цене. Конкретный принцип дифференциации предприятие определяет исходя из реальных условий производства и сбыта. Это во-первых.

Во-вторых, сегментация потребителей позволяет предприятию определить многообразие назначаемых цен на свой товар. Исходя из выбранного принципа дифференциации, она может проводиться по разным критериям – по уровню доходов, по размерам транспортных расходов, по разным категориям льготников, с учетом эластичности спроса по цене и т.д.

В предлагаемой методическом подходе установление уровня цены товара для каждого сегмента потребителей осуществляется с помощью математического моделирования.

Введем следующие обозначения:

y - объем выпуска;

p - рыночная цена товара;

m - число сегментов потребителей, соответствующее выбранному принципу дифференциации цен;

K_i - суммарный уровень дохода i -го сегмента, $i = 1, \dots, m$;

p_i - устанавливаемая для i -го сегмента цена товара, $i = 1, \dots, m$;

y_i - объем выпуска, продаваемого в i -м сегменте, $i = 1, \dots, m$.

Формально дифференциацию цен товара можно представить как отображение:

$$(p; y; K_1, \dots, K_m) \rightarrow (p_1, \dots, p_m; y_1, \dots, y_m),$$

когда каждому объему выпуска, рыночной цене и фиксированной сегментации потребителей ставится в соответствие индивидуальные цены для каждого сегмента потребителей и соответствующие им предложения товара.

Относительно цен сделаем следующие примечания. Во-первых, так как дифференциация цен осуществляется в условиях несовершенной конкуренции (монополистическая конкуренция), не предполагаем цену p равновесной (в смысле Вальраса) [4,5]. Для определенности ее можно считать равной предельному доходу (формулу для вычисления такой цены можно найти в [2, С.305]. Здесь важно лишь то, что p - это та цена товара, по которой он продается на реальном рынке.

Во-вторых, все цены для i -ого сегмента одновременно не могут быть меньше цены p , так как нарушается условие неубыточности.

Поэтому предполагается, что соответствующие некоторым сегментам цены p_i выше, чем p .

Естественно, что здесь имеются ввиду сегменты с более высоким уровнем дохода, для которых спрос на товар менее эластичен по цене. Для таких потребителей, часто, престижно покупать товар по более высокой цене, но лучше оформленный и обеспеченный более продвинутым маркетингом.

Следует отметить, что найденная таким способом последовательность дифференцированных цен не единственна, т.е. при продолжении поиска могут быть найдены и другие дифференцированные цены, но каждая из них гарантирует реализацию всего выпуска и получение дохода не меньше, чем при рыночной цене p [3,4].

Продемонстрируем применение предлагаемой методики расчета дифференцированных цен на примере конкретных числовых данных ООО «Юргинский машзавод» г. Юрга, производящего металлургическую продукцию.

Свыше 80% металлургической продукции машиностроительного предприятия составляют пресовые поковки с механической обработкой, рыночная цена которой за 1 тонну составляет 40 тыс. руб. Перечень потребителей этой продукции и объемы потребления приведены в следующей таблице 1:

Таблица 1

Основные потребители ООО «Юргинский машзавод»

№	Название потребителей	Объемы продаж в 2010 г.	
		В тоннах	В млн. руб.
1	ООО «Красгормаш»	156	6,24
2	ООО «Уральская ТПК»	157	6,28
3	ООО «НПО Элсиб»	377	15,08
4	ООО «Гурьевский МЗ»	80	3,2
5	ООО «РМЗ Енисей»	57	2,28
6	ООО «Сибэлектротерм»	252	10,08
7	ООО «РАНК-2»	381	15,24
8	ООО «Сибэлектропривод»	405	16,2
9	ООО «Сибэнергомаш»	130	5,2
10	ИТОГО	1995	79,80

Аналогичную продукцию как по маркам сталей, так и по механическим свойствам выпускают в России еще несколько заводов. Перечень основных производителей данной продукции, с указанием емкости и доли рынка для каждого из них, приведен в следующей таблице 2:

Таблица 2

Основные производители металлургической заготовки

№	Название производителей	Доля на рынке, %	Емкость рынка, в тонн. (в месяц)
1	ООО «Камасталь» г. Пермь	20	1200-1500
2	ОАО «Металлургический завод» г. Электросталь	16,5	1200-1300
3	ОАО «Уральская кузница» г. Чебаркуль	16,5	1200-1300
4	ОАО «Буммаш» г. Ижевск	20	1200-1500
5	ООО «РМЗ» г. Новокузнецк	2	400-500
6	ООО «Уфалейский завод металлургического машиностроения» г. Верхний Уфалей	5	900-1300
7	ООО «Юргинский машзавод» г. Юрга	18	1200-1400
8	ООО «Тяжстанкогидропресс» г. Новосибирск	2	400-500

Как видно из таблицы 2, доля рынка металлургической заготовки ООО «Юргинский машзавод» составляет 18%. При этом 25% выпуска продукции этого предприятия остается нереализован-

ной по рыночной цене. Как видно из таблицы 1, это составляет 498,7 тонн продукции, что соответствует убытку равному 19,95 млн. руб.

Поэтому, наряду с другими мерами маркетингового характера, возникает необходимость дифференциации цен на продукцию по разным сегментам потребителей.

В следующей таблице 3. показана сегментация всех потребителей по трем уровням покупательской способности:

Таблица 3

Сегментация потребителей по уровню доходов (покупательской способности)

№	Названия сегментов	Названия потребителей
1	Высокий уровень	1. «НПО Элсиб» 2. ООО «Сибэлектропривод» 3. ООО «РАНК-2» 4. ООО «Сибэлектротерм»
2	Средний уровень	1. ОАО «Сибэнергомаш» 2. ООО «Красгормаш» 3. ООО «Уральская ТПК»
3	Низкий уровень	1. ООО «Гурьевский металлургический завод» 2. ООО «РМЗ Енисей»

С использованием компьютерной программы Excel, математического моделирования можно сделать вывод, что при дифференцированных ценах первому сегменту потребителей продается 1381 тонна продукции по цене 40990 руб., что приносит выручку равную 56,607 млн. руб., второму сектору – 466 тонн продукции по цене 38000 руб. с выручкой, равной 17,708 млн. руб., третьему сектору – 148 тонн продукции по цене 37000 руб. с выручкой, равной 5,476 млн. руб. Суммарная выручка предприятия от продажи 1995 тонн продукции по дифференцированным ценам составляет 79,791 млн. руб.

Таким образом, выгода от применения дифференцированных цен очевидна, так как продажа продукции предприятия по рыночной цене $p = 40$ тыс. руб. всем потребителям, как авторы отметили выше, приносит лишь (см. таблицу 1) $79,80 - 19,95 = 59,85$ млн. руб. и при этом образуется избыточный продукт, равный 498,7 тоннам на сумму 19,95 млн. руб.

Дифференциация цен, как механизм повышения конкурентоспособности продукции машиностроительных предприятий и повышения их дохода, выполняет важную социальную функцию – способствует удовлетворению спроса с учетом покупательских возможностей различных слоев населения.

Это одно из социальных обязательств градообразующих предприятий в моногородах. Последнее способствует более эффективному взаимодействию предприятий с органами государственного регулирования (приобретение тендеров, налоговые и кредитные льготы и т.д.), с бизнес-окружением (в области инвестиционной деятельности) и образовательными учреждениями (в сфере трудовых ресурсов) [5].

Подводя итог, необходимо отметить, что повышения конкурентоспособности машиностроительного предприятия практически невозможно достигнуть случайным образом.

Поэтому необходима совокупность методов и приемов, образующих инновационную систему управления конкурентоспособностью. Реализация такой системы напрямую связана с анализом и оценкой всего многообразия условий и факторов функционирования субъектов.

Как показала практика, предложенный методический подход дифференцированных цен обеспечивает выполнение двух конечных условий: полную реализацию выпуска, т.е. доведение всего объема выпущенной продукции предприятием до потребителя и получение предприятием суммарного (по всем сегментам) дохода большего, чем при рыночной цене [6].

Таким образом, достаточно жесткие конкурентные условия на современных мировых рынках потребовали выработки новых подходов и методических рекомендаций, связанных с формированием и развитием конкурентных преимуществ машиностроительных предприятий с учетом влияния различных групп ценообразующих факторов.

В то же время, в перспективном планировании, в большинстве современных концепций конкурентных преимуществ, развивается методология дифференциации цен товаров, предлагаемых на потребительских рынках. Как раз именно такой новой методикой является методика дифференциации цен товаров, представляющая собой новаторский подход в ценообразовании, применительно к конкретному машиностроительному предприятию ООО «Юргинский машзавод» моногорода Юрга, Россия.

Сегментация потребителей позволило предприятию определить многообразие назначаемых цен на свой товар. Установление уровня цены товара для каждого сегмента потребителей осуществлялось с помощью математического моделирования.

Дифференциация цен как экономико-математическая модель повышения конкурентоспособности машиностроительного предприятия представляет собой один из наиболее динамично развивающихся разделов прикладной экономической науки и все больше проникает в экономику, экологию, коммерческую деятельность каждого предприятия.

Литература.

1. Mescon, M. X. principles of management : Per. s angl. / M. X. Mescon, M. Albert, F. Хедоури. М : Business, 1992. 702 С.2. Данилов Н.Н. Курс математической экономики. М.: Высшая школа, 2006.
2. Bazaraa M., Sherali Y., Shetty C. (1993) Nonlinear Programming. Theory and Algorithms.
3. New York: John Wiley & Sons. Inc.4. F. Gill, U. Murrey and M. Rite, Practical Optimization. Russian Edn., Mir, Moscow (1985)
4. Valuev D. V. , Danilov V. I. Reasons for Negative Formation of Structures in Carbon Steel Processing of Pressure // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - Vol. 2 - p. 151-154
5. Malushin N. N. , Valuev D. V. Measuring stress condition in hard faced work rolls for cold rolling // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 71-76

БЕССВИНЦОВЫЙ ПРИПОЙ НА ОСНОВЕ ОЛОВА

М.Н. Курмаев, инженер, А.А. Волков, магистрант, Б.Н. Перевезенцев, д.т.н., профессор

Тольяттинский государственный университет

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел.: (8482)-53-92-71

E-mail: mihailkurmaev@gmail.com

Применение бессвинцовых припоев и покрытий приведет к изменению технологий пайки. Потребуется корректировка режимов и как следствие доработка технологического оборудования. Необходимо проведение испытаний бессвинцовых паяных соединений на прочность, коррозионную стойкость и совместимость с паяемыми материалами.

Повышение экологической безопасности в производстве электронной аппаратуры, связано с исключением свинца из состава легкоплавких припоев. Эти требования определяются рядом документов:

1) End-of Life Vehicle - эта директива положила начало развитию бессвинцовых технологий, она нацелена на то, чтобы ограничить использование четырех основных тяжелых металлов (кадмия, свинца, ртути, шестивалентного хрома) в машинах, была утверждена парламентом ЕС в мае 2000 года и 18 сентября 2000 года ей был присвоен номер 2000/53/ЕС;

2) WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment directive) – послужила следующим шагом, на пути к развитию бессвинцовых технологий. В соответствии с этой директивой, с 1 января 2004 года в Европе полностью запрещается использование свинца при производстве радиоэлектронной аппаратуры;

3) RoHS - третий этап ограничений по использованию свинца, данной директиве был присвоен номер 2002/95/ЕС, которая, 1 июля 2006 года, вступила в действие на территории Европейского союза. Цель директивы — ограничить применение опасных веществ для обеспечения защиты здоровья людей и окружающей среды.

Для решения этой проблемы за последние годы создано целый ряд бессвинцовых припоев систем Sn – Cu, Sn – Ag, Sn – Ag – Cu. Эти припои широко применяются в различных технологиях пайки различных электронных устройств. Основной особенностью большей массы новых припоев рассматриваемых как альтернатива ПОС 61 была более высокая $T_{пл}$. Это привело к пересмотру многих аспектов пайки печатных плат: оборудования, технологии, совместимости покрытий с новыми припоями и т.д. Однако даже соединения, выполненные с использованием бессвинцовых припоев, изначально имеющих более высокую $T_{экс}$, не всегда удовлетворяют ужесточившимся условиям эксплуатации.

Целью настоящей работы состояла в разработке припоя, обеспечивающего повышенные механические свойства паяных соединений при сохранении температурных режимов технологического процесса пайки.

Поставленная цель достигнута микролегированием системы припоя Sn – Ag – Cu германием [1]. Улучшение эксплуатационных свойств происходит не только за счет улучшения свойств матрицы сплава (твердого раствора), но и за счет дисперсионного упрочнения. Количество вводимого гер-

мания составляло сотые доли процента, и ограничивалось пределом его растворимости в сплаве при $T_{\text{п}}$, и не оказывало влияния на $T_{\text{пл}}$ и жидкотекучесть. Реализация такой технологии изготовления припоя обеспечивает повышение прочности припоя и паяного соединения за счет того, что германий в процессе изготовления припоя и пайки зафиксирован в виде равномерно распределенной мелкодисперсной фазы.

Проведенный анализ структуры (рис. 1) на электронном микроскопе LEO 1455VP подтвердило предположение о характере распределения германия. Спектральный анализ показал его равномерное распределение, однако не всегда удавалось зафиксировать германий по причине его малого количества в сплаве.

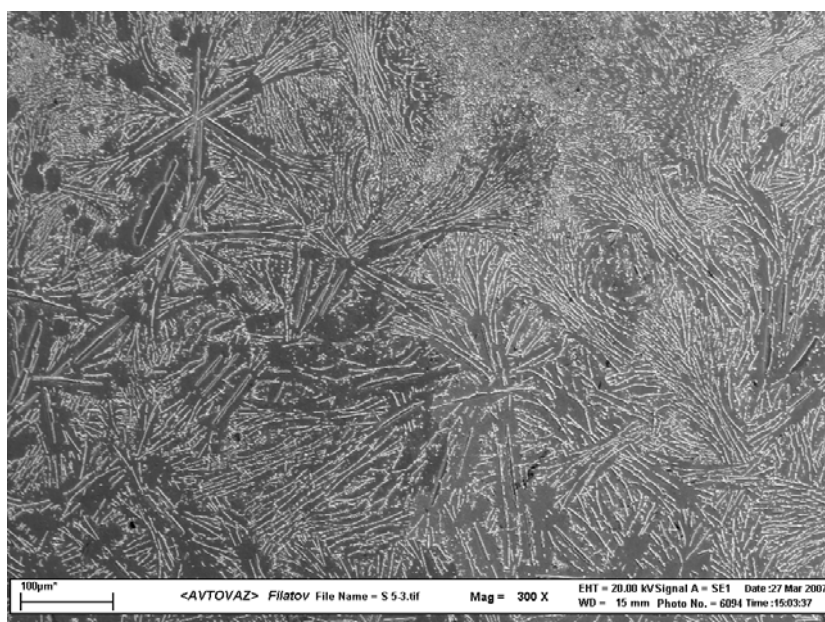


Рис. 1. Структура припоя Sn-2,5Ag-0,7Cu-0,15Ge ($\times 300$)

Припой Sn-2,5Ag-0,7Cu-0,15Ge имеет характерную структуру для сплава эвтектического состава. Она представляет собой пластинчатую структуру, которая кристаллизуется в виде отдельных колоний, центрами которых служат игольчатые скопления. Игольчатые скопления в свою очередь являются предположительно интерметаллидами Ag_3Sn , проведенный спектральный выявил большое количество серебра и малое – олова в этой фазе

Дальнейшие испытания механических свойств припоев проводились при комнатной температуре на разрывной машине TINIUS OLSEN H50KT со скоростью перемещения захватов 4 мм/мин. В качестве припоев для сравнения брались следующие припои на основе олова: припой ПОС 61; теплопрочный припой на его основе, микролегированный германием и никелем (добавки никеля вводились в припой для возможности его использования при пайке медно-никелевых сплавов); базовый припой Sn-2,5Ag-0,7Cu. Испытания проводились на специальных образцах (рис. 2). Всего испытывалось по 5 образцов каждого припоя.

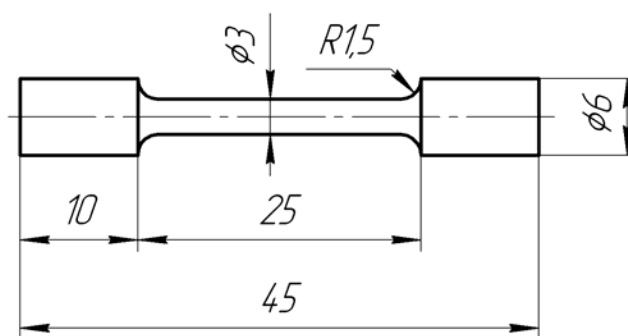


Рис. 2. Образец припоя для испытаний на растяжение

Таблица 1

Механические свойства	№ обр.	Сплавы			
		ПОС 61	ПОС 61+ +0,15Ge+0,15Ni	Sn-2,5Ag-0,7Cu	Sn-2,5Ag-0,7Cu- -0,15Ge
σ_b , МПа	1	45,2	62,3	54,9	74,0
	2	46,0	62,8	58,5	71,7
	3	46,8	58,6	58,6	69,4
	4	47,2	58,0	56,1	69,3
	5	47,8	59,1	63,4	71,0
δ , %		39	36	25	20

Значения механических характеристик позволяют сделать заключение о том, что введение микролегирующей добавки Ge в количестве до 0,15% позволяет получить увеличение прочности на 18% по сравнению с базовым сплавом Sn-2,5Ag-0,7Cu. Аналогичная картина наблюдается и с припоем ПОС 61 [2], где введение Ge позволяет получить увеличение прочности на 22%. Относительное удлинение у сплава системы Sn-Ag-Cu, так же и как в случае с припоем ПОС 61, после дополнительного микролегирования, снижается на 5%.

С применением разработанного припоя была изготовлена опытная партия бортовых компьютеров (БК) «ШТАТ115Х23» (рис. 3).



Рис. 3. Бортовой компьютер «ШТАТ115Х23»

БК устанавливается на автомобили семейства ВАЗ-2115 «ЛАДА-САМАРА-2», ВАЗ-2108 «ЛАДА-САМАРА» с инжекторной системой управления.

Была проведена оценка характеристик надежности паяных соединений опытной партии БК «ШТАТ115Х23», которая включала в себя:

- 1) Испытание на работоспособность в интервале рабочих температур
- 2) Испытание на термоциклирование
- 3) Испытание на влагостойкость
- 4) Испытание на вибропрочность

По окончании испытаний на надежность к функционированию бортовых компьютеров замечаний нет. Механические повреждения и нарушения лакокрасочного покрытия не выявлены.

Литература.

1. Перевезенцев Б.Н., М.Н. Курмаев. Способ изготовления припоя. Патент РФ №2302932 от 11.07.2005 г.
2. Перевезенцев, Б.Н. Повышение теплопрочности припоя ПОС 61 / Б.Н. Перевезенцев, Н.М. Соколова, А.А. Фролов // Свар. произ-во. – 2002. – №8. – с. 25-30.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕНЫ НОВОГО КЛАССА ГОРНОПРОХОДЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

О.А. Бурова, А.В. Косовец, Д.Н. Нестерук, Е.А. Подзорова,

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: elenalizz@yandex.ru

Фактор времени в анализе цен, т.е. взаимосвязь между издержками и ценами зависит от того, за какой период (долгосрочный или краткосрочный) осуществляется анализ. При возрастании спроса на товар, его производители получают дополнительные доходы (сверхприбыль) в краткосрочном

периоде, пока не введены в действие новые мощности. Так и вытекает необходимость адаптации ценовых решений к текущему и перспективному спросу, а также необходимость оптимизации ценовых решений путем оценки альтернативных затрат.

Предложенный А. Маршаллом подход к формированию цены стал основой современной западной микроэкономики, которая посвящена анализу рыночных закономерностей на уровне субъектов рынка – предприятий, предпринимателей и др. агентов [1].

Выявленные количественные зависимости между ценами и основными качественными характеристиками используются для определения того, насколько уровень цены нового изделия, исчисленный на базе издержек производства, вписывается в систему цен внутреннего рынка, которые отражают качественные различия между изделиями[2]

Параметрические методы используются при определении цен в мировой торговле, где конкурентоспособность продукции, ее качество являются важнейшим ценообразующим фактором и где использование дополнительно параметрического подхода позволяет фирмам «вписывать» свои изделия во внешний рынок.

Параметрические методы – это также средство прогноза затрат и цен. Таким образом, параметрические методы могут использоваться для:

- обоснования цены на новую модификацию, которая включается в параметрический ряд производимых фирмой товаров;
- обоснования поправок к ценам, с учетом цен и качества товаров конкурентов [3].

На этапе эскизного проектирования затраты на изготовление геохода оценивались укрупненным методом по следующим статьям калькуляции:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизация основных фондов;
- прочие затраты.

Материальные затраты определялись исходя из массы и группы сложности изготовления системы геохода [4].

Оставшиеся статьи калькуляции определялись в долях от материальных затрат[5].

В таблице 1 представлены данные расчета себестоимости геохода диаметром 3,2 м по годам реализации проекта.

Таблица 1

Себестоимость единицы продукции по годам реализации проекта, тыс. руб.

Статьи затрат	2016		2017		2018		2019		2020	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Материальные затраты	14000,00	52,38	14000,00	68,75	14000,00	81,48	14000,00	86,84	14000,00	86,84
Затраты на оплату труда	6786,00	25,39	3393,00	16,66	1696,50	9,87	1131,00	7,02	1131,00	7,02
Отчисления на социальные нужды	2036,00	7,62	1018,00	5,00	509,00	2,96	339,33	2,10	339,33	2,10
Амортизация основных фондов	3803,50	14,23	1901,75	9,34	950,88	5,53	633,92	3,93	633,92	3,93
Прочие затраты	100,00	0,37	50,00	0,25	25,00	0,15	16,67	0,10	16,67	0,10
Итого:	26725,50	100,00	20362,75	100,00	17181,38	100,00	16120,92	100,00	16120,92	100,00

Себестоимость геوخода уменьшается с увеличением объема годового выпуска (рис. 1). Плановая себестоимость геوخода уменьшается с 26,8 до 16,12 млн. руб. в 2016 и 2020 годах соответственно.

Наблюдается тенденция снижения затрат на единицу продукции при установившемся производстве геоходов, связанная с увеличением объема выпуска.

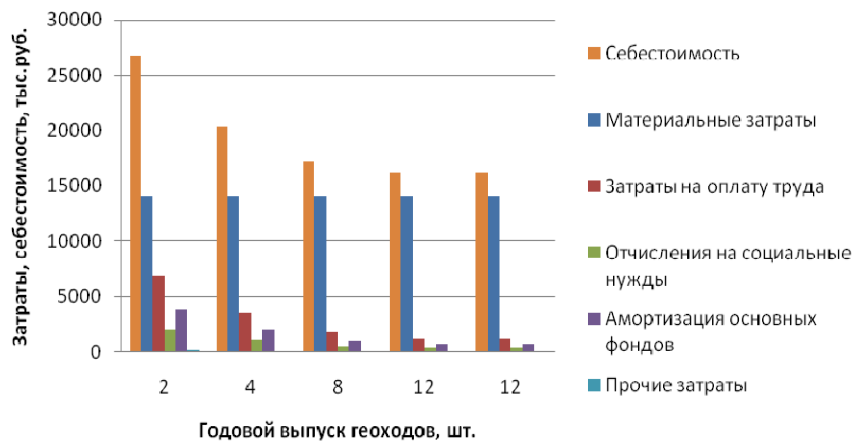


Рис. 1. Зависимость стоимости изготовления геохода от объема годового выпуска

Диаграмма на рисунке 1 отражает изменение себестоимости в зависимости от изменения объема производства геоходов. В течение 5 лет производственная программа выпуска увеличивается с 2 шт. в 2016 г. до 12 шт. в 2020 г. Таким образом, увеличению производства в 6 раз в течение 5 лет соответствует снижение себестоимости на 39,85%.

Стоимость существующих тоннелепроходческих комплексов составляет:

- диаметром от 6 до 10 м. – порядка 12 млн. дол. США;
- диаметром 10,69 м. со вспомогательным оборудованием – 36 млн. дол. США;
- диаметром 13,21 м. – 37,5 млн. дол. США.

Стоимость щита Herrenknecht (Германия) для строительства метро в Санкт-Петербурге в 2008 – 2010 гг. составила 20 млн. Евро.

Стоимость проходческих комбайнов в зависимости от производителя, исполнения, технических характеристик и массы составляет 20 - 55 млн. руб. без учета транспортных механизмов для удаления горной массы, крепи и обделки горных выработок.

Таким образом, стоимость изготовления геохода и цены аналогов показала высокий уровень конкурентоспособности геохода по цене.

Рассчитанная себестоимость геохода укрупненным методом составила 15 652 098,00 руб. без стартового устройства. Данная цена является ориентировочной, т.е. минимальной ценой изготовления геохода.

Исходя из расчета цены геохода экспертным методом, которая составила 28 441 715,82 руб., является более приемлемой в области машиностроения, по сравнению с проходческими щитами, т.к. стоимость проходческих щитов, такого же диаметра, в 1,5 и 2 раза превышает стоимость геохода.

Таким образом, себестоимость геохода (15 652 098,00 руб.) рассчитанная укрупненным методом является минимальной ценой, без учета транспортных расходов, крепи и обделки горных выработок, цены 1 м проходки. При учете всех этих затрат и затратах приведенных в подразделе 4.2 цена геохода может возрасти до цены, рассчитанной экспертным методом, которая может являться максимальной.

Литература.

1. Шевчук Д.А. Ценообразование/Учебное пособие.–М.: ГроссМедиа.: РОСБУХ, 2008. – 240 с.
2. Ковалев А. П., Кумель А. А., Королев И. В. Фадеев П. В. Практика оценки стоимости машин и оборудования: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005- 265 с.
3. Параметрические методы ценообразования [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.costinfo.ru/cost-methods/param-method.php>
4. Выписка из областного ежемесячного информационно-аналитического бюллетеня «Цены в строительстве» № 02 (209), Февраль 2013
5. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е36. Горнопроходческие работы. Выпуск 2

**ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МАШИНОСТРОЕНИЕ
НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

В.Н. Куровский, д.пед.н., проф., М.А. Лоцилова, ст. преп., Л.Ф. Михальцова**, к.пед.н., доц.,
А.Д. Кононыхина*, студентка гр.17А20*

*Томский государственный педагогический университет;
директор Института развития образовательных систем Российской академии образования,
634041, Томская обл., г.Томск, пр.Комсомольский, 75*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

***Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета
654005, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Циолковского 23,*

E-mail: v.kurovskii@yandex.ru, marisha20@bk.ru, mihal_if@mail.ru, alenakononyhina@mail.ru

Введение. Новые социально-экономические требования к системе российского профессионального образования актуализируют осмысление профессиональной подготовки высококвалифицированных специалистов различного уровня как конкурентоспособных, готовых к творческой и профессиональной деятельности, способных комплексно сочетать исследовательскую, проектную и предпринимательскую деятельность, посредством реализации новой парадигмы образования – «образование через всю жизнь» [1, с.6].

Исследование психолого-педагогической литературы российских и зарубежных ученых по проблеме профессиональной подготовки позволило выявить необходимость соответствия требований обучения специалистов рынку труда и современному уровню развития науки и технологии [3,7,13].

Профессиональная подготовка представляет одну из стадий развития личности, которая также включает стадию трудоустройства и адаптацию на рынке труда. Для нашего исследования важным является изучение стадии профессиональной подготовки, которая предполагает процесс обучения в образовательной организации, когда завершается профессиональное самоопределение и формируется готовность обучающихся к профессиональной деятельности [8, с.18].

Основная часть. Профессиональную подготовку инженеров мы рассматриваем как целостный процесс, имеющий диалектический характер и включающий, наряду с профессиональной, социальную составляющую, которая обусловлена взаимодействием образовательных организаций и социальных партнеров посредством социального диалога.

Многочисленные исследования феномена «профессиональная подготовка инженера» позволили сформулировать ключевое понятие, под которым мы будем понимать - целостный динамичный процесс на основе сетевого взаимодействия образовательных организаций и социальных партнеров, направленный на создание условий для личностного и профессионального развития, конечной целью которого является формирование готовности инженеров к профессиональной деятельности [8, с.19].

На современном этапе важнейшей задачей образовательной политики государства выступает организация всестороннего партнерства, которое означает развитие сетевого взаимодействия на различных уровнях системы профессионального образования.

Эффективным условием проектирования новых моделей содержания профессионального образования в институциональных условиях, организационно-правовых форм образовательных институтов, экономических условий деятельности, моделей управления образованием является сетевое взаимодействие образовательных организаций и социальных партнеров. Под сетевым взаимодействием образовательных организаций и социальных партнеров будем понимать организацию совместных действия образовательных учреждений с социальными партнерами посредством социального диалога для повышения уровня готовности инженеров к профессиональной деятельности, формирования субъект-субъектных отношений, развития креативности и мобильности.

Раскроем основные формы сотрудничества образовательных организаций и социальных партнеров: договорные отношения, включающие все виды взаимодействия на основе договоров; организационные формы, предполагающие создание дополнительных органов - консультативных, попечительских, профессиональных и прочих советов [6, с.45].

Основным способом осуществления сетевого взаимодействия образовательных организаций и социальных партнеров является социальный диалог, в который стороны вступают с целью достижения консенсуса по вопросам, представляющим взаимный интерес. М. Weber считает, что социальный диалог и развиваемые в его русле партнерские отношения образования и экономики является

действенным средством повышения качества и результативности профессиональной подготовки инженеров [16,17].

В процессе профессиональной подготовке инженеров в ходе нашего исследования осуществляется сотрудничество образовательных организаций и социальных партнеров на основе представленной модели (Рис. 1).

Заключение. Изучение психолого-педагогической литературы позволяет утверждать, что значимым результатом преобразований в инженерных вузах является создание или существенное развитие инновационной инфраструктуры посредством различных форм сетевых структур: инновационно-технологических центров, центров трансфера технологий, бизнес-инкубаторов, конструкторских и технологических бюро, опытных производств, технопарков, учебно-научно-производственных комплексов, кластеров, центров компетенции, которые объединяют высокотехнологичные предприятия, научные и проектные организации, учреждения профессионального образования и представляют интерес трансляции опыта в процессе профессиональной подготовки инженеров.

Раскрытию возможностей сетевого взаимодействия в полной мере способствует также и изучение зарубежного опыта. Анализ зарубежных источников позволил изучить опыт зарубежных стран (Германии, Дании, Великобритании), для которых характерно значительное влияние социальных партнеров на политику и содержание подготовки молодежи к занятости [12, с.4].

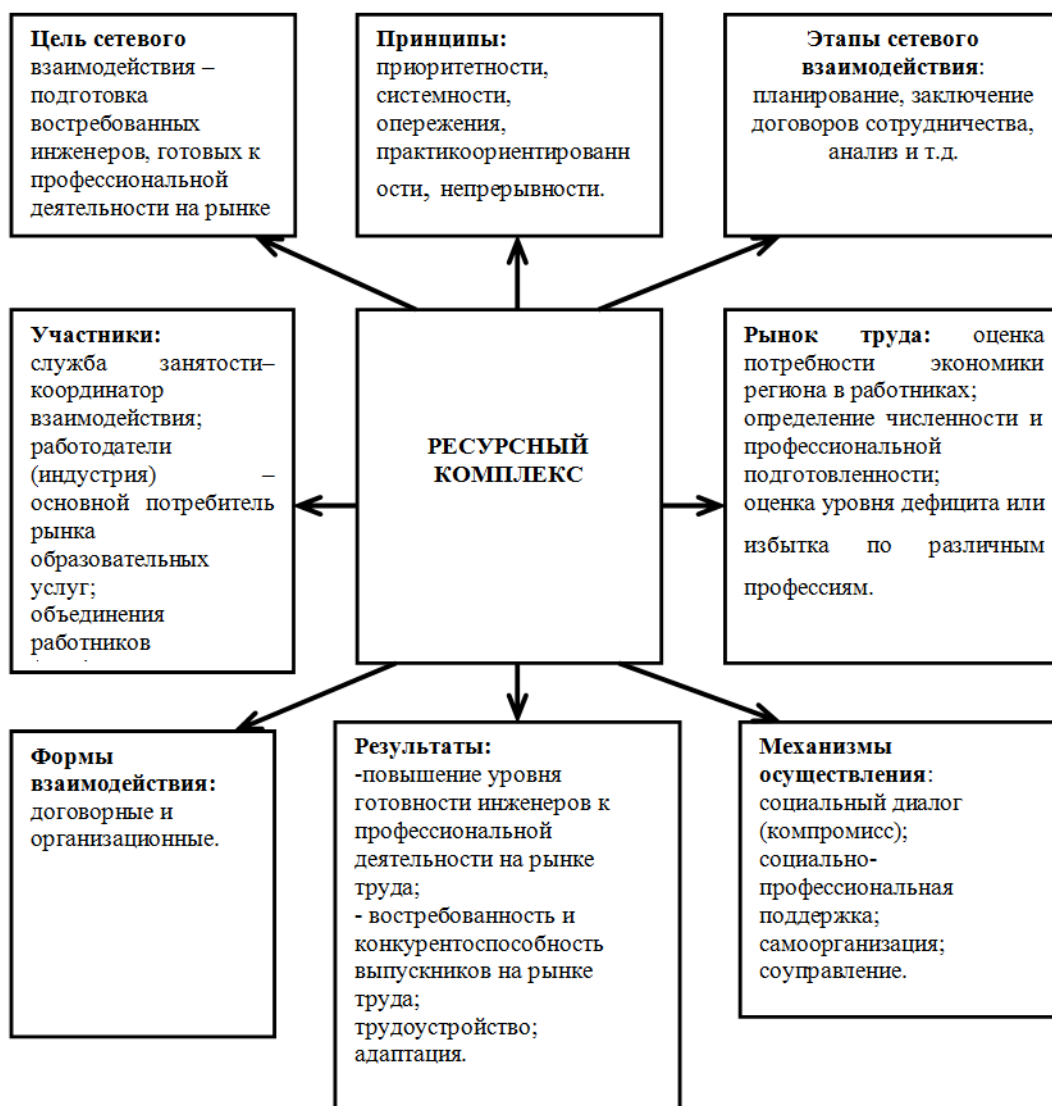


Рис. Модель сетевого взаимодействия ресурсного комплекса с социальными партнерами в процессе подготовки инженеров

Например, в Германии, по оценкам российских и зарубежных экспертов, отмечается достаточно высокий показатель занятости молодёжи, что обусловлено современной социально-экономической политикой государства, направленной на развитие и поддержание среднего и малого бизнеса. В начале XXI века в этой стране для решения проблемы молодёжной безработицы была проведена общегосударственная реформа системы подготовки и переподготовки специалистов, построена новая система дополнительного образования, сформированная на коммерческих основаниях [5, с.35]. Как отмечает P.Drewek, особую роль стали придавать модернизации профессионального образования силами специалистов различных профессий [11, с.115].

Была создана широкая сеть непрерывного технического обучения и повышения квалификации для работников различных предприятий и фирм. В процессе обучения стали применяться методы стимулирования, развития самооценки обучаемых и их мотивации. По мнению G.Thiess, H.Gropler, большое внимание в процессе обучения уделялось развитию умений выстраивания поддержания деловых взаимоотношений с социальными партнерами [15, с. 311]. В целях обеспечения занятости молодёжи государство стимулирует кооперацию предприятий и фирм с образовательными учреждениями, которые позволяют объединять теоретическую подготовку обучающихся с содержанием технической деятельности, то есть соединение подготовки с производством [4, с.23].

Примером такой кооперации служит Главный комитет Федерального института профессионального образования, в который входят представители рабочих и служащих, работодателей, а также государства (федеральное правительство и правительство федеральных земель). В дополнение к стандартным формам занятости значительное развитие получают использование труда временных работников, независимых подрядчиков, совместителей, а также гибкие графики работы и работа на дому.

Анализируя зарубежные источники, отметим, что основная роль социальных партнеров (профсоюзов и работодателей) выражается в предоставлении консультаций, организации и контроле профессионального обучения [3, с.12]. Профсоюзы и работодатели вместе с политическими партиями сыграли решающую роль в разработке и принятии Закона о профессиональном образовании. Профсоюзы, работодатели, рабочие, служащие и государство в одинаковой мере заинтересованы в профессиональном обучении.

В Дании составной частью национальной политики рынка труда является сотрудничество между социальными партнерами, роль которых состоит в разработке законодательства о рынке труда. Отметим, что для этой страны характерен высокий уровень организованности социальных партнеров, так, более 80% работонанимателей в этой стране являются членами профсоюзов, которые объединены в национальные федерации и связаны с небольшим количеством центральных организаций. Организации работодателей имеют такую же структуру. Самые крупные центральные организации работонанимателей – Датская Конфедерация профессиональных союзов, Конфедерация бюджетных работонанимателей и государственных служащих. Самая крупная организация работодателей – это Конфедерация работодателей Дании [15, с.310]. Высшую политическую и административную ответственность за политику на рынке труда несет министр труда Дании, который работает в тесном контакте с Департаментом Министерства труда. Другими центральными организациями под руководством Министерства труда являются: отдел страхования безработных, отдел руководства национальным рынком труда и Директорат служб условий труда. Юридические взаимоотношения между работодателем и работонанимателем регулируются трудовыми договорами между социальными партнерами. Коллективный договор – это контракт между двумя сторонами: работодателем и организацией со стороны работонанимателя, в котором определяются условия труда.

В Великобритании существует особая организация образовательного процесса, представляющая собой комплекс мероприятий, подразумевающий участие организаций общественного, частного и добровольного секторов, разнообразные виды партнерских соглашений между учреждениями (между школами, колледжами, местными организациями, сферой бизнеса и т.д.) [8, с.18]. Центральную роль в системе профессионального обучения Великобритании играют секторные Советы по умениям как органы взаимодействия социальных партнеров, объединяющие интересы промышленности и сферы образования и разрабатывающие национальные стандарты профессий. Активное участие в разработке общей стратегии развития профессионального образования и обучения принимает Конфедерация британской промышленности, объединяющая работодателей из различных отраслей. На основе анализа и прогноза развития экономики и рынка труда Конфедерация вырабатывает национальные цели обучения в соответствии с конкретными потребностями в квалификациях [9, с.29]. В рамках сетевого взаимодействия образовательных учреждений Великобритании существуют сле-

дующие типы сотрудничества: консорциумы средних школ (межшкольные объединения); консорциумы школа-колледж; консорциумы колледжей дальнейшего образования [14, с.23]. Большинство консорциумов были учреждены при участии и поддержке местных органов народного образования (LEA - Local Education Authority). В большинстве консорциумов имеется хорошо отлаженная и согласованная процедура финансирования совместных мероприятий [10, с. 34].

Результаты. Анализ зарубежных источников позволяет утверждать, что для Германии, Дании, Великобритании характерно значительное влияние социальных партнеров на политику и содержание подготовки обучающихся; сетевое взаимодействие является составной частью политики государства в области профессионального обучения и предполагает использование таких форм взаимодействия: кооперации предприятий и образовательных учреждений, консорциумы, секторные советы по умениям и др.

Использование выявленного потенциала сетевого взаимодействия образовательных организаций и социальных партнеров в процессе профессиональной подготовки инженеров способствует:

- активизации работы по привлечению талантливой молодежи, повышению результативности мероприятий по профориентации и довузовской подготовке абитуриентов;
- совместному проведению анализа потребностей в умениях для выявления существующего несоответствия между требованиями работодателя и качеством подготовки будущего инженера к рынку труда;

- целевой подготовке по договорам с региональными и отраслевыми заказчиками специалистов;

- введению в практику работы элементов дистанционного обучения (дистанционные курсы, сетевые тематические семинары, конференции, образовательные проекты; сетевые олимпиады, конкурсы, викторины, марафоны; сетевые консультации и видеолектории) с применением современных информационно-коммуникативных технологий, массовых онлайн-курсов [7, 13].

- применению имеющихся материально-технических ресурсов (оборудование, технические средства обучения);

- вовлечению студентов в реальную инновационную деятельность с целью приобретения ими компетенций, востребованных на рынке труда;

- систематическому информационному обмену лучшим опытом в решении актуальных проблем кадрового и научного обеспечения модернизации экономики;

- совершенствованию системы трудоустройства молодежи с учетом особенностей и кадровых потребностей рынка труда посредством программ содействия занятости на федеральном и региональном уровне, льгот для работодателей при трудоустройстве молодых специалистов

- расширению перечня образовательных программ: краткосрочная подготовка, переподготовка, повышение квалификации; семинары, мастер-классы; дополнительным образовательным услугам по отдельным направлениям (изучение применения новых материалов, отдельного модуля, направленного на освоение определенных производственных навыков, нового оборудования и т.д.).

Организация сетевого взаимодействия образовательных организаций и социальных партнеров в процессе профессиональной подготовки инженеров отвечает «современным вызовам» информационного общества, определяющим тенденции развития системы профессионального образования. Внедрение научно-отраслевых структур требует осуществления ряда последовательных действий, которые могут быть положены в основу целостной кластерной политики для утверждения статуса России в мировом сообществе как великой державы в сфере образования и культуры, наукоемких технологий и экономики для создания основы устойчивого развития страны: оценить ресурсный, инновационный, инвестиционный, производственный, инфраструктурный, финансовый потенциал для развития региона и формирования на его территории кластеров; определить «стратегические разрывы» - факторы производства, условия спроса на внутреннем и внешнем рынке, инновационный капитал, - необходимые для обеспечения конкурентоспособности региона в определенных сегментах рынка или секторах экономики; выделить ключевые отрасли и предприятия, на основе которых могут быть сформированы кластеры; определить потенциал и «стратегические разрывы», а также заинтересованность в создании кластеров у предприятий смежных и сопутствующих отраслей; разработать систему управленческих воздействий, способствующих кластеризации и повышению ее эффективности; разработать систему показателей мониторинга для оценки эффективности кластеризации.

Таким образом, учитывая вышесказанное, отметим, что рассмотренная модель сетевого взаимодействия образовательной организации с социальными партнерами будет способствовать повы-

шению уровня готовности специалистов машиностроительного направления к профессиональной деятельности и востребованности на рынке труда.

Литература.

1. Александров А.А. МГТУ им.Н.Э.Баумана: опыт, традиции и инновации в подготовке инженерных и научных кадров //Инженерное образование. № 10.- 2012.- С.6-13.
2. Андреев В.И., Зинсер Р., Михальцова Л.Ф., Глобализационные вызовы качеству жизни, качеству образования и саморазвитию человека XXI века // Модернизация инженерного и общего образования: проблемы и перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Юрга: ЮТИ ТПУ, 2010. – С. 27-34. – ISBN 978-5-89702-243-5 (авт. – 0,5 п.л.).
3. Бибик В.Л., Демченко А.Р., Калинин Ю.В., Клименко Н.М., Лоцилова М.А., Морозова М.В. Сравнительный анализ непрерывного профессионального образования Германии и России. Коллективная монография Издательство, ФБОУ ВПО «НГАВТ», 2011, 150с.
4. Воскресенская Н.М. Структура и учебно-воспитательный процесс в 12 летней общеобразовательной школе западноевропейских стран. – М., Институт теории образования и педагогики, 2001. – 94 с.
5. Вульфсон Б.Л., Малькова З.А. Сравнительная педагогика: Учебное пособие. – Москва-Воронеж, 1996.
6. Егорова С.В. Подготовка старших школьников к выбору профессии в процессе модернизации системы образования. Дис.канд пед.наук. Кемерово, 2006. Кемеров.гос университет.256 с.
7. Куровский В.Н., Бутырин В.Н. Оценка качества подготовки инженеров в техническом вузе на основе компетентностного подхода / Вестник ТГПУ. № 2(140). – С. 161-168. – Томск, 2013.
8. Лоцилова М.А. Особенности сетевого взаимодействия образовательных учреждений в системе профильного обучения в Великобритании// Профессиональное образование в России и за рубежом. - 2012. - №4 (8). - С. 17-20.
9. Олейникова О.Н. Социальное партнерство в профессиональном образовании. М., 2005. С.29.
10. Cowen R. and Stokes P. Methodological Issues in Comparative Education. L., 1982.
11. Drewek, Peter Die Entwicklung des Bildungssystems in den Westzonen und in der Bundesrepublik von 1945/49 bis 1990: strukturelle Kontinuität und Reformen, Bildungsexpansion und Systemprobleme. In: Müller, D.K. (ed) Pädagogik – Erziehungswissenschaft// Bildung. Cologne. – Weimar. – Vienna, 1994. – 300 S.
12. Gute Schulen sind paedagogisch innovative Schulen.//Muenstersche Erklaerung, 1998. – S.5.
13. Mikhaltsova L.F., Milinis O.A, Danichkina N.A., Loshchilova M.A. Innovative strategy of educational space for creative self-development and competitiveness of future specialists // Italian Science Review. 2014. № 10 (2). P. 31-36.
14. Parkyn G.V. Aims and Results: Problems in Comparative Education // London Educational Review. V, 2. No 3. 1973. P.20-26.
15. Thiess G., Gropler H. Methodische Konzeption und Bedingungsfaktoren für die Realisierung des Inhalts des Sportunterrichts in der Oberstufe. // Theorie und Praxis der Körperkultur. – 1998. - № 5. – S. 309-315.
16. Weber M. The Theory of Social and Economic Organization. New York: Free Press. 1947.
17. Tashchiyan G.O. Organizing automated Ted dialogue on the competitiveness of science-intensive products. // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 240-243.

ФАКТОР ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАЗВИТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

И.С. Соловенко, к.и.н., доц., А.Д. Кононыхина, студент гр. 17Б20

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32

E-mail: igs-71@rambler.ru, alenakononyhina@mail.ru

Развитие отечественного машиностроения с 2009 г. до наших дней является показательным в контексте анализа реального сектора экономики России в посткризисный период. В течение рассматриваемого периода российская хозяйственная система эволюционировала от негативных последствий мирового экономического кризиса к ситуации дополнительного внешнего давления в форме санкций со стороны США, ЕС и их союзников. Главной задачей санкционной политики является экономическое ослабление российской экономики. В числе наиболее уязвимых отраслей находится и машиностроение, которое является связующим звеном всех сегментов индустриального сектора.

Анализ развития отечественного машиностроения в столь короткий, но, в то же время насыщенный негативными факторами внешнего воздействия период, позволяет определить достижения важной отрасли народного хозяйства, её проблемы и пути выхода из непростого состояния, в том числе из-за контрпродуктивной политики стран Запада.

Несмотря на достаточное внешнее давление, ключевые проблемы машиностроительного комплекса России в своей основе имеют внутренние, весьма специфические и застоявшиеся, причины. Машиностроительная отрасль уже более двух десятков лет находится в сложном положении. Наибольшие потери она понесла в 1990-е гг., когда производственному спаду были подвержены почти все отрасли народного хозяйства. Переходный период и ошибки в экономической политике поставили ведущую отрасль хозяйственной системы на грань выживания. Динамично разрушалась не только инфраструктура отрасли, но и кадровый потенциал машиностроительных предприятий. Пик проблем отечественного машиностроения приходится на 1998 г., когда мировой экономический кризис и финансовый дефолт России осложнили функционирование всего реального сектора народного хозяйства. Это привело к ещё большей потере конкурентоспособности отрасли и дополнительному росту импортных машин и оборудования.

Одной из ключевых причин кризиса в реальном секторе экономики была признана крайне либеральная политика правительства РФ. Между тем, благодаря активному внешнеэкономическому сотрудничеству, российское машиностроение получило дополнительную финансовую поддержку со стороны международных экономических институтов. Успешное преодоление кризиса 1998 г. связано и с формированием устойчивых связей между российскими компаниями и представителями крупного бизнеса развитых стран. Ситуация стала меняться в 1999 г. на фоне роста мировой экономики и благоприятной для России рыночной конъюнктуры. Серьёзные перемены произошли и в области экономической политики. Государство стало активнее вмешиваться в хозяйственные процессы, в том числе и в реальном секторе экономики.

Стабилизация макроэкономического положения в начале XXI в. ещё не значила решения важнейших проблем машиностроения. Мировой экономический кризис 2008 г. показал хрупкость положительных тенденций в ведущей отрасли промышленности. Девальвация рубля позволила сократить импорт, а рост потребительского спроса стимулировал участие иностранных компаний в совместных проектах по производству автомобилей и бытовой техники. Однако это не привело к стабильному росту, так как выпускались в основном устаревшие модели, а конкурентные преимущества к 2008 г. были утрачены. На ситуации в машиностроении негативно отразились дефицит управленческих кадров, масштабная приватизация, а также недальновидное перепрофилирование научно-производственной базы. К этому времени деградация потенциала российской промышленности в целом и машиностроения в частности только усилилась [1, р. 24]. Стремительное падение производства в большей мере имело внутренние причины, так как отечественное машиностроение мало зависело от внешних рынков. Объёмы экспорта Россией машин и оборудования до сих пор значительно меньше, чем даже некоторых развивающихся стран. К началу 2011 г. импорт машиностроительной продукции быстро восстановился, а экспорт практически не изменился [2, р. 10].

Выделяются следующие ключевые причины негативных явлений в отечественном машиностроении, проявившиеся в ходе последнего мирового экономического кризиса: инфляция издержек при укреплении рубля, что снизило рентабельность в машиностроении; дефицит долгосрочных и дешёвых кредитов, не позволивший предприятиям завершить к 2008 г. модернизацию производства; отсутствие достаточной поддержки со стороны правительства РФ отечественной обрабатывающей промышленности, что привело к неоправданному завышению цен производителями сырья и ценовой конкуренции с импортной продукцией. Машиностроительные предприятия в последние годы столкнулись с рядом важных проблем: недостаточной загруженностью производственных мощностей, выдавливанием с внутренних рынков отечественных производителей машин и оборудования иностранными, слабой (по сравнению с зарубежной) инновационной деятельностью, низким уровнем заработной платы квалифицированных кадров, высокой степенью изношенности основных производственных фондов. В 2013 г. одной из причин резкого ухудшения динамики производства машин и оборудования стало снижение инвестиционного спроса в стране. Самыми депрессивными отраслями производства в посткризисный период стали станкостроение, строительно-дорожное, коммунальное, тракторное, и сельскохозяйственное машиностроение. В общем, те отрасли, которые и в докризисный период являлись недостаточно конкурентоспособными.

Любой кризис не только обозначает проблемы, но помогает осознать возможности экономического роста. Одним из признаков потенциальных возможностей выхода российского машиностроения на новый качественный уровень является ряд очевидных достижений её отдельных отраслей в рассматриваемый период. Лучше других кризисное состояние преодолели такие отрасли машиностроения, как микроэлектроника, военно-промышленный комплекс, авиационная и ракетно-космическая, автомобильная промышленность, энергетическое машиностроение, производство железнодорожной техники. В основе посткризисного восстановления машиностроения являлся опережающий рост производства транспортных средств и оборудования, что чётко обнаружилось в 2011 г. Темп роста производства по российскому машиностроению в 2011 г. по сравнению с 2010 г. составил 15,6%. Это был наиболее высокий показатель среди всех секторов обрабатывающей отрасли промышленности. Особые успехи показывало производство легковых автомобилей.

Каковы же причины столь безболезненного выхода из кризисного состояния этих отраслей? Первая заключается в том, что они показывали устойчивую динамику роста накануне кризиса 2008 г. Вторая является следствием особого приоритета в процессе реализации протекционистской политики российского государства в посткризисный период. Третья — возросший инвестиционный спрос на некоторые виды оборудования. Четвёртой причиной стало расширение взаимовыгодного сотрудничества российских предприятий с ведущими машиностроительными компаниями мира. Это позволило дополнительно привлечь инвестиции, внедрять новые технологии и формы организации труда.

Позитивные тенденции чётко обозначились в 2011 г., хотя нельзя утверждать, что даже в то время ключевые проблемы машиностроения, возникшие в ходе мирового экономического кризиса, были решены. Снижение макроэкономических показателей России в 2013 г., в том числе и в передовых отраслях машиностроения подчёркивает временный характер тех методов, которые использовались правительством РФ в качестве рецепта по выходу из системного кризиса. В 2009—2013 гг. в антикризисной политике в сфере отечественного машиностроения выделялись такие ведущие направления, как: 1) содействие спросу на продукцию отечественных предприятий; 2) укрепление финансовой стабильности субъектов хозяйственной деятельности; 3) осуществление программ стратегического развития и инвестиционных проектов российских компаний. По сути, все эти меры были ориентированы на прямую и активную помощь государства (активизация госзакупок, субсидирование ставок по кредитам, программа утилизации, повышение пошлин на импортные машины и оборудование, активизации потребительского кредитования). С одной стороны, такой подход вполне соответствует международной практике антикризисных мероприятий, в том числе и развитыми странами. С другой — активная протекционистская политика поддерживала иждивенческие настроения менеджмента отечественных предприятий и мало стимулировала инновационные методы развития. О необходимости максимально избегать ограничения в области международной конкуренции предупреждали известные экономисты. В 2009 г. В. Мау отмечал, что в то время наиболее эффективной мерой защиты отечественных товаропроизводителей должна была стать политика валютного курса, не допускающая избыточного укрепления рубля [3, р. 22]. Однако к ней стали в большей мере прибегать в 2014 г. в условиях санкций. В целом антикризисная программа не только значительно облегчила деятельность тех предприятий, где сформировался эффективный менеджмент, но и способствовала укреплению конкурентных преимуществ в перспективе. Однако таких предприятий оказалось не так много.

Российские предприятия слабо продвинулись по такому важному направлению как укрепление конкурентоспособности [4]. Конкретным показателем является незначительный объём экспорта машиностроительной продукции. Главные причины такого положения — дефицит квалифицированных кадров (в том числе рабочих профессий), а также низкий уровень внедрения в производство новых технологий. Это негативно сказывается на качестве выпускаемой продукции. Обращает внимание то, что основная группа товаров, идущая на экспорт, — это продукция военно-промышленного комплекса. Однако в условиях открытой экономики и ВПК подвержен риску снижения эффективной деятельности. «Утечка умов» из России, несмотря на некоторый позитив, продолжается. Соответственно одной из центральных задач правительства РФ должны стать меры по укреплению научно-образовательного потенциала.

Проблемы научно-образовательной базы напрямую связаны с недооценкой социо-культурного фактора экономического роста. Падение престижа инженерной деятельности (на это, например, указывают рейтинги популярности российских вузов), провалы в системе подготовки кадров для машиностроительных предприятий, недостаточная взаимосвязь теории и практики и т.д. позволяют сделать вывод о необходимости пересмотра инженерной политики на всех уровнях российского госу-

дарства. Назрела потребность усиления специализации как в системе общего, так и профессионального образования. Большой вклад в пропаганду технических знаний необходимо вносить средствами массовой информации и системе дополнительного образования. При этом инженерное образование должно усилить взаимодействие с современными знаниями в области рыночных отношений, что позволит иметь не только грамотного, но и, не менее важно, конкурентоспособного специалиста.

Вторая важная составляющая антикризисных мер — это инвестиционная политика. Динамичный рост машиностроения в странах Запада в значительной степени был обусловлен ростом капиталовложений. В результате чего оказалась возможной существенная интенсификация традиционной техники и технологии, а также форм и методов организации машиностроительного производства. В свою очередь машиностроение России в 2009 г. испытало самый глубокий спад инвестиционной деятельности. В стране сократилось производство инвестиционной продукции — станков, технологического оборудования, строительной техники. В результате замедлились темпы модернизации реального сектора экономики.

Правительство РФ предприняло прямые и косвенные меры, способствующие росту инвестиционной активности, что действительно позволило поддержать производство машин и оборудования. Вместе с тем в инвестиционной политике правительства РФ наблюдался ряд парадоксов. Основные объёмы капиталовложений были направлены в распоряжение государственных корпораций. Между тем на развитие инвестиционного и инновационного процессов в стране они мало влияют. Ярким доказательством служит незначительное количество патентов, зарегистрированных госкорпорациями России.

В условиях экономической неопределенности представители российского бизнеса стали меньше инвестировать в рискованные проекты. Поэтому особую важность приобрели иностранные капиталовложения, которые являются одним из главных источников пополнения основного капитала, реконструкции и обновления производства. Так объём накопленных иностранных инвестиций в отрасли по итогам 2011 г. составил почти 8% (к началу года). Рост был отмечен в производстве таких важных отраслей как электрооборудование, электронное и оптическое оборудование (+11%). В посткризисный период крупнейшими инвесторами в российское машиностроение стали Южная Корея, Германия и Нидерланды [5, р. 38].

Заметное снижение инвестиций в основной капитал произошло в 2013 г. Негативное влияние на результат оказало вступление России в ВТО. В частности, от этого пострадали производители сельскохозяйственной техники. Кроме того, снизилась доступность кредитных ресурсов как внутри страны, так и за рубежом. В результате наблюдался рост задолженности предприятий перед поставщиками сырья и материалов, кредитными организациями и, наконец, собственными сотрудниками.

В целом можно отметить недостаточный характер инвестиционной активности в период кризиса. Для государства это стало наиболее уязвимым направлением в антикризисной политике. Расчёт на зарубежных инвесторов не оправдал ожидания, так как уровень рентабельности всех сегментов российского машиностроения является низким. Снижение капиталовложений в машиностроении сопровождается мультипликационным эффектом, и уже в недалёком будущем грозит сокращением ввода производственных мощностей самого машиностроения, сокращением инвестиционного потенциала экономики, а также возможностей технологической модернизации других отраслей промышленности. Вполне логичный спад зафиксирован в производстве большей части техники инвестиционного назначения — станков, металлургического оборудования, крупного энергетического оборудования, грузовых автомобилей, тракторов и др. В дополнение к этому, в 2014 г. начался спад в производстве машиностроительной продукции, предназначенной для потребительского рынка, что связано с ухудшением динамики кредитования физических лиц. По справедливому мнению многих экспертов, спрос на технику инвестиционного назначения может активизироваться за счет реализации крупных инфраструктурных государственных проектов (модернизация БАМа и Транссиба, спортивных объектов для ЧМ-2018 и др.) [6, р. 5].

Затяжной характер выхода России из мирового экономического кризиса показал весьма высокую степень её зависимости от негативных колебаний конъюнктуры глобального рынка. Нарастая объёмы экспорта, наша страна не повышала в нём удельный вес товаров машиностроительного комплекса. Сейчас главный удар санкционной политики стран Запада направлен на нефтегазовый сектор российской экономики. Однако высокая связь машиностроения с топливно-энергетическим комплексом автоматически снижает надежды на мобильное решение его актуальных проблем. Отсюда напрашивается вывод о необходимости расширения машиностроением взаимодействия с другими отраслями промышленности и всего народного хозяйства. Перспективы такого взаимодействия вполне

реальны и уже есть объективные основы его усиления. Например, в связи с ответным продовольственным эмбарго России в отношении ряда стран открываются дополнительные возможности для развития отечественной сельхозтехники.

Выход России из кризиса и рост в последующие годы создали предпосылки импортозамещение, что положительно сказалось в условиях санкций. Потенциальные возможности роста имеются и у других отраслей машиностроительного комплекса. Лидирующие позиции России в мировой ракетно-космической отрасли промышленности объективно способствуют расширению и углублению межотраслевого и международного сотрудничества в этой области. Однако сохранение санкций значительно осложняет решение многих задач машиностроительного комплекса и требует новых и весьма мобильных подходов в стимулировании производства машин и оборудования как со стороны государства, так и крупных частных компаний, в том числе из-за рубежа.

В целом, анализ посткризисного развития машиностроения России показывает, что весьма важную роль в преодолении негативных последствий кризиса 2008 г. сыграл фактор внешнеэкономической деятельности. Соответственно важными задачами правительства РФ на современном этапе должны стать: во-первых, достижение политико-экономического компромисса со странами Запада; во-вторых, активизация поиска новых векторов внешнеэкономического взаимодействия.

Литература.

1. Навой А. Российские кризисы образца 1998 и 2008 годов: найди 10 отличий // Вопросы экономики. – 2009. – № 2. – С. 24–38.
2. Сухарев О.С. Макроэкономическая политика: структурные параметры и экономический рост // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 42 (249). – С. 2–13.
3. Мау В. Драма 2008 года: от экономического чуда к экономическому кризису // Вопросы экономики. – 2009. – № 2. – С. 4–23.
4. Tashchian G.O. Organizing automated Ted dialogue on the competitiveness of science-intensive products // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – p. 240–243.
5. Аналитический бюллетень/Машиностроение: Тенденции и прогнозы. Выпуск № 5. Итоги 2011 года // Information on <http://www.ria.ru/research/>
6. Аналитический бюллетень/Машиностроение: Тенденции и прогнозы. Выпуск № 13. Итоги 2013 года // Information on <http://www.riarating.ru/>

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН В ЦЕХОВЫХ УСЛОВИЯХ

О.Н. Поболь, д.т.н., проф., Г.И. Фирсов, с.н.с.*

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, Москва

**Институт машиноведения им А.А. Благонравова РАН, Москва*

101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, тел. (495) 624-00-72

E-mail: firsovgi@mail.ru

Для оценки воздействия шума машин на работающих в производстве и эффективности технических средств и организационных мероприятий по шумозащите необходимо знание характеристик шумового режима в цехах предприятий - октавных спектров уровней звукового давления (УЗД) и уровней звука на рабочих местах. Шум в цехах по характеру в целом постоянный широкополосный, с равномерным распределением уровней по частотам [1]. Большинство машин обувного производства создают при работе непостоянный шум, прерывистый или импульсный. Превышение нормативных уровней наблюдается для всех производств и достигает наивысших значений в высокочастотном диапазоне (выше 500 Гц). При допустимом по нормам уровне звука 80 дБА средние значения уровней звука на рабочих местах колеблются в диапазоне 83-97 дБА. КВ основных производствах в настоящее время практически отсутствуют цеха, в которых уровни шума в пределах норм, хотя в производствах текстильной и легкой промышленности занято около 10% всех работающих в промышленности России. Вместе с тем следует иметь в виду, что величины, соответствующие средним значениям уровней спектральных полей шумовых режимов и ниже, относятся к новому и модернизированному отечественному оборудованию, разработанному в последнее пятнадцатилетие и имеющему шумовые характеристики на 8-15 дБ ниже, чем выпущенные ранее. В настоящее время оборудование текстильной и легкой промышленности - высокошумное и среднешумное; свыше 50% установленного оборудования находится в эксплуатации более 15-20 лет.

Характеристики шумового режима в производствах и уровни звукового давления в заданных точках при работе машин не могут однозначно характеризовать их звуковую активность, поскольку зависят от акустических характеристик производственных помещений и соседних машин, плотности их установки и эксплуатационных условий. [1-4], Основной стандартной шумовой характеристикой машин, позволяющей объективно оценить их шум и выполнять расчеты шумового режима, является спектр уровней звуковой мощности L_p в октавных полосах частот. В качестве дополнительных сюда включаются: скорректированный уровень звуковой мощности (УЗМ) L_{PA} , уровни звукового давления в октавных полосах L и уровень звука L_A , измеренные в контрольных точках (обычно на расстоянии 1 м от контура машины $L_{d(A)}$). Эти характеристики удобны для выполнения экспресс-оценок и при невозможности определения спектра УЗМ. Подробное описание действующих в настоящее время отечественных и международных стандартов по изменению и нормированию шумовых характеристик машин приведен в работе [5].

Точность измерений шумовых характеристик принято характеризовать величинами средних квадратических отклонений (СКО) результатов измерений уровней шума. Все методы определения шумовых характеристик машин по гарантируемой точности измерений могут быть обобщенно отнесены к трем группам.

1. Точные методы измерений свободного и отраженного поля в заглушенных и реверберационных камерах (СКО соответственно в пределах 1,5 дБ и 1,5-2 дБ). Выполняются в специальных акустических камерах с объемом, превышающим объем машин в 100-200 раз.

2. Технические методы измерений в свободном и отраженном звуковом поле (с использованием образцового источника шума), а также измерений на расстоянии 1 м от наружного контура машины, осуществляемые в обычных производственных помещениях (СКО соответственно в пределах 2-3 дБ и 4-5 дБ). Первые два метода предъявляют особые требования к измерительным помещениям, а последний метод считается ориентировочным.

3. Специальные методы измерений для крупногабаритных машин — методы двух и трех огибающих поверхностей и интенсивности, требующие использования специальной аппаратуры. Имеющиеся в литературе сведения о погрешностях измерения звуковой мощности крупногабаритных машин весьма противоречивы, при этом отмечается, что точность часто определяется конкретными условиями измерений. Для некоторых типов машин эти методы обеспечивают повышенную точность, близкую к методам первой группы, однако в ряде случаев допускают большие погрешности (СКО до 7 дБ), связанные с некорректным учетом влияния ближнего звукового поля и отраженного звука [6 - 9].

Рассмотрим уточненный метод определения уровней звуковой мощности машин в производственных условиях, впервые предложенный в работах [1, 9]. Шумовые характеристики вычисляются по результатам измерений уровней звукового давления (УЗД) в контрольных точках на измерительной поверхности. Для машин с наибольшими габаритными размерами l_{max} , в пределах 1 м наиболее целесообразно применение точного метода измерений в заглушенной камере. Октавные уровни звуковой мощности (УЗМ) определяются по результатам измерений УЗД в точках на сферической или полусферической (в случае камеры с отражающим полом) поверхности радиуса $r \geq 2l_{max}$ $L_p = L_m + 10 \lg (S/S_0)$, где L_m - средний УЗД на измерительной поверхности в данной октаве, дБ; S - площадь измерительной поверхности, м²; $S_0 = 1$ м².

Для машин с габаритными размерами более 1 м с размерами до 20 м и более, возникают проблемы, связанные с обеспечением требуемой точности измерений. Строительство для измерений специальных акустических камер невозможно по экономическим соображениям, а сами испытания технологического оборудования, включающие определение шумовых характеристик, выполняются в процессе эксплуатации в производственных цехах, при высокой плотности установки машин. На результаты измерений влияют акустические свойства производственного помещения и соседних машин, а также особенности звукового поля самой машины: тип излучателей, их расположение в объеме машины и наличие ближнего поля излучения. Использование для определения УЗМ таких машин метода интенсивности затруднительно ввиду его сложности и требует проведения дополнительных исследований с целью оценки обеспечиваемой точности. Единственным приемлемым по простоте и доступности в условиях эксплуатации методом определения УЗМ крупногабаритных машин является стандартный метод измерений на расстоянии 1 м от наружного контура, однако точность этого метода, допускающего максимальные СКО до 4-5 дБ, не позволяет использовать его без дополнительной корректировки. На его основе разработан уточненный метод определения УЗМ машин на расстоянии

1 м в условиях эксплуатации [1, 10], учитывающий тип и расположение излучателей в объеме машин, конструктивные особенности машин, что учтено в расположении контрольных (измерительных) точек на измерительной поверхности, имеющей форму параллелепипеда. Форма измерительной поверхности в виде параллелепипеда, отстоящего от наружного контура машины на расстоянии $d = 1$ м, и схема расположения измерительных точек на этой поверхности приняты из удобства измерений с учетом конструктивных особенностей оборудования отрасли. Измерительные точки располагаются равномерно на измерительной поверхности на двух измерительных линиях на высоте $0,9 \pm 0,2$ м и $1,5 \pm 0,2$ м.

Площадь измерительной поверхности определяется по формуле

$$S = 4(a + b + c)(ab + ac + bc)/(a + b + c + d),$$

где $a = 0,5l_1 + 1$, $b = 0,5l_2 + 1$, $c = 0,5l_3 + 1$ - характерные размеры поверхности в м, l_1, l_2, l_3 , - основные габаритные размеры машины в м.

УЗМ машин по уточненному методу измерений на расстоянии 1 м от наружного контура определяется по формуле $L_p = L_m + 10 \lg (S/S_0) - K$, где K - коррекция на отраженный звук и характер звукового поля, $L_m = 10 \lg \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m 10^{0,1L_i} \right)$, L_i - УЗД в i -той измерительной точке, m — общее число измерительных точек,

$$K = 10 \lg(\psi + 4S/B) \quad (1)$$

$\psi = \psi_1 \psi_2$ - коэффициент учета увеличения УЗД в измерительных точках из-за неравномерного расположения локальных источников шума в объеме машины (ψ_1) и их ближнего звукового поля (ψ_2), B - акустическая постоянная цеха с площадью ограждающих поверхностей S_V , $B = aS_V/(1 - a)$, a - среднее значение коэффициента звукопоглощения в расчетной полосе частот (характеризует долю поглощенной отражениями и машинами звуковой энергии). Второе слагаемое в уравнении (1) учитывает влияние на результаты измерений отраженного звука при условии диффузности (однородности и изотропности) звукового поля в измерительной зоне.

Для определения коррекции K необходимо прежде всего знание характеристик звукового поля в проходах между машинами. Большинство цехов на старых фабриках являются соразмерными (отношение длины 1 к ширине b и высоте h не превосходит для них соответственно 5 и 4), в то время как на предприятиях постройки последних десятилетий они относятся к плоским (отношение длины к ширине и высоте значительно превосходят 5).

Исследованы спады УЗД в проходах между машинами на разных расстояниях r от точечного образцового источника (паспортные значения СКО для источника в измерительных частотных полосах в пределах 0,7 дБ) как для соразмерных, так и для плоских цехов. Результаты измерений спадов УЗД сопоставлялись с расчетными значениями спадов уровней, определенными в соответствии с классической теорией Сэбина для диффузного отраженного звукового поля в соразмерных помещениях по уравнению

$$L = L_p - 10 \lg (2\pi r^2/S_0) + 10 \lg (1 + 8\pi r^2/B), \quad (2)$$

где L_p - УЗМ образцового источника шума, дБ.

Как показали исследования, отраженное звуковое поле в зоне измерений для всех цехов является диффузным: спад УЗД в проходах подчиняется уравнению (2). Справедливость этого заключения подтверждается совпадением результатов определения УЗМ однотипных машин по уточненному методу на расстоянии 1 м от наружного контура как в соразмерных, так и в плоских цехах. Коэффициент ψ_1 для машин найден с учетом данных локализации и идентификации источников шума в объеме машины - в полосах измерений преобладают некогерентные точечные излучатели и линейные системы точечных излучателей. Оценка величины коэффициента ψ_1 сводится к нахождению средней плотности звуковой энергии w прямого излучения на измерительной поверхности S при известной мощности источника P_0

$$\psi_1 = P/P_0 = wcS P_0, \quad (3)$$

где P - измеренная звуковая мощность, Вт; c - скорость звука в воздухе, м/с.

При излучении в полусферу плотность энергии в точке на расстоянии r находится из соотношений:

- для локального точечного источника на измерительных линиях

$$w_i = P_0/2\pi r^2 c, \quad (4)$$

где w_i - плотность звуковой энергии в i -ой точке, Вт c/m^3 ;

• для линейного источника длины l в точках D_1 и D_2 , на измерительных линиях AB , CE , AC , BE , параллельных и перпендикулярных источнику

$$w_{D_1} = \frac{P_0}{2\pi cl} \int_a^{d+l} \frac{dx}{(x-a)^2 + d^2} = \frac{P_0}{2\pi cl} \left(\arctg \frac{d+l-a}{d} - \arctg \frac{d-a}{d} \right) = P_0 (\arctg \theta_2 - \arctg \theta_1) / 2\pi cl, \quad (5)$$

$$w_{D_2} = P_0 (\arctg \theta_4 - \arctg \theta_3) / 2\pi cl,$$

где d - расстояние от измерительной линии до источника, м; a и a_1 - соответственно координаты элемента излучателя и измерительной точки D_1 в прямоугольной системе координат, м; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ - угловые координаты измерительных точек D_1 и D_2 относительно концов линейного источника, рад.

Применительно к оборудованию текстильной и легкой промышленности можно показать, что прядильные, крутильные, ровничные, мотальные, плоские трикотажные и подобные им длинные машины представляют собой систему параллельных линейных излучателей, состоящих из некогерентных точечных. Ленточные машины, ткацкие станки, круглые трикотажные, швейные и большая часть обувных машин можно рассматривать как точечные излучатели или системы точечных и линейных излучателей.

Из компьютерных расчетов для основных типов машин, при рассмотрении их в виде указанных моделей, в соответствии с уравнениями (3) - (5) найдены значения $\psi_1 = 1,35 - 1,53$, средние значения $\psi_{1cp} = 1,4$.

Величина коэффициента ψ_2 , учитывающего влияние в зоне измерений ближнего поля машины, может быть найдена из отношения, аналогичного (3)

$$\psi_2 = P_1/P_0 \quad (6)$$

где P_1 - мощность источника в ближнем поле, определяемая по результатам измерения УЗД на измерительной поверхности площади S , Вт; P_0 - истинная звуковая мощность источника, определяемая интенсивностью его излучения I в измерительных точках.

Для мощностей сферического излучателя порядка u получены выражения [5]

$$P_0 = \frac{8\rho c k r_0^3}{\left| k r_0 H_{n+1/2}^{(2)}(k r_0) - n H_{n+1/2}^{(2)}(k r_0) \right|^2} v_n^2, \quad (7)$$

$$P_1 = \frac{\pi k r_1}{2} \left| H_{n+1/2}^{(2)}(k r_1) \right|^2 \frac{8\rho c k r_0^3}{\left| k r_0 H_{n+1/2}^{(2)}(k r_0) - n H_{n+1/2}^{(2)}(k r_0) \right|^2} v_n^2, \quad (8)$$

$$H_{n+1/2}^{(2)}(z) = \left(\frac{2}{\pi z} \right)^{1/2} j^{n+1} e^{jz} \sum_{l=0}^n \frac{(n+l)!}{l!(n-l)!} \frac{1}{(2/z)^l},$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м³; $k = \omega/c$ - волновое число, м⁻¹; r_0 - радиус сферического излучателя, м; $H_{n+1/2}^{(2)}(z)$ - функция Ганкеля аргумента (z) для излучателя порядка n ; r_1 - расстояние от центра источника до измерительной точки, м; $j = \sqrt{-1}$; $l = 1, 2, 3, \dots$

После подстановки уравнений (7) и (8) в формулу (6) выражение для коэффициента ψ_2 , приобретает вид:

$$\psi_2 = 2 / n k r_1 \left| H_{n+1/2}^{(2)}(k r_1) \right|^2. \quad (9)$$

Выполненные по уравнению (9) расчеты дают следующие значения коэффициента ближнего поля:

- при $n = 0$ (точечный сферический излучатель) $\psi_2 = 1$ при любых r ; во всем частотном диапазоне;
- при $n = 1$ (дипольный излучатель) $\psi_2 = 1$ при $r_l \geq 1$ м в частотном диапазоне при $f > 500$ Гц;
- при $n = 2$ величина $\psi_2 \approx 1$ при $r_l \geq 1$ м в частотном диапазоне при $f > 1000$ Гц.

Результаты расчетов дают основание для заключения, что для машин с преобладанием излучателей порядков $n = 0$ и $n = 1$ для измерительной зоны на расстоянии от основных излучателей $r_l \geq 1$ м в представляющем практический интерес частотном диапазоне значения коэффициента ближнего поля можно принимать $\psi_2 = 1$. Тогда значение коэффициента ψ в уравнении (1) составит в среднем $\psi = \psi_1 \psi_2 = 1,4$, а само уравнение (1) для расчета: коэффициента коррекции будет иметь вид

$$K = 10 \lg(1,4 + 4S/B) \quad (10)$$

Следовательно, найденная при измерениях по стандартному методу на расстоянии 1 м, в котором принято значение коэффициента $\psi = 1$, звуковая мощность машин оказывается завышенной в среднем на 40%, а в ряде случаев и более 50%, по причине неравномерности расположения основных источников шума в объеме машины. В уточненном методе эта систематическая погрешность исключена.

Величина коэффициента коррекции K для производственных помещений в зависимости от отношения его объема V к площади измерительной поверхности S установлена на основе статистической обработки результатов массовых измерений и расчетов акустической постоянной помещений (после измерений в них времени реверберации) $B = A/(1 - \alpha)$, где α - средние значения коэффициентов звукопоглощения в расчетных полосах частот.

Эквивалентная площадь звукопоглощения A производственных помещений определялась при этом по экспериментальным значениям времени реверберации по стандартной методике. Для плоских цехов звукопоглощение A рассчитывалось также по формуле $A = \alpha S_V$ с учетом значений КЗП α для однотипных соразмерных цехов - расчетные и экспериментальные значения практически равнозначны (разница в пределах 4%).

При практических расчетах средние значения коэффициента коррекции K , найденные по уравнению (10) с учетом данных массовых измерений их акустических характеристик, принимаются согласно таблице в зависимости от отношения объема помещения к площади S измерительной поверхности.

Значения УЗМ, определенные для машин по описанной выше методике, лежат в основном в диапазоне 70-110 дБ. Анализ точности определения УЗМ машин описанным выше уточненным методом измерений на расстоянии 1 м от наружного контура выполнен в сравнении с точным методом в заглушенной камере, техническими методами - в свободном звуковом поле и в реверберационном помещении, а также ориентировочным методом. Были определены УЗМ основных типов машин с габаритными размерами от 1 до 20 м. Измерения выполнялись как для одной машины, так и для групп однотипных машин при работе на одинаковых скоростях. Как показали результаты исследований, погрешности средств измерений при использовании прецизионной аппаратуры практически не влияют на результаты и потому средние отклонения можно определять без дополнительной коррекции.

Значения коэффициента коррекции K

Интервалы изменения акустических параметров	Отношение V/S для обычных цехов, м	Отношение V/S для цехов с сильно отражающими звук поверхностями без технологических звукопоглотителей, м	Коэффициент коррекции K , дБ
1	20 - 50	50 - 100	4,5
2	50 - 90	100 - 200	3,5
3	90 - 300	200 - 600	2,5
4	Свыше 300	Свыше 600	1,5

Доверительные границы результатов измерений для одной машины в случае достаточно высокой доверительной вероятности $\beta \leq 0,98$ и при числе измерительных точек не менее 8 для среднегабаритных машин и 16 для крупногабаритных определяются уравнением $a_{B,H} = L_m \pm s$, где s - СКО результатов измерений УЗД. Проведенные исследования показали, что результаты определения УЗМ машин по методам I, II, III следует считать равнозначными как по абсолютным значениям измеренных параметров (разница УЗМ в основном не превосходит 1 дБ), так и по точности их определения. СКО для этих методов составляют в среднем 1,5 - 2,5 дБ и лежат в пределах, допускаемых стандартами для технических методов измерений.

Установлено, что для обеспечения необходимой точности измерений по уточненному методу (I) для среднегабаритных машин размерами в пределах 7 м число измерительных точек должно быть не менее 8, для машин с габаритными размерами более 7 м должно быть не менее 16 измерительных точек. Измерительные точки рекомендуется располагать на двух горизонтальных уровнях на расстоянии 2 - 4 м в продольном направлении и 1 - 3 м в поперечном направлении относительно оси машины.

Метод IV (сравнения с образцовым источником шума) относительно методов I, II, III дает на частотах октавных полос с номинальной частотой 64, 125 и 250 Гц значения УЗМ, заниженные на 2 - 7 дБ. Это объясняется расположением образцового источника вблизи машины (по условиям контрольных испытаний расположить источник на месте машины невозможно), когда наличие ограждающих поверхностей в зоне его расположения приводит к увеличению звуковой мощности P_0 источника до величины P вследствие появления мнимого источника равной мощности на частотах, где величина критерия $2kl > 1$ (где $k = \omega/c$ - волновое число, l - расстояние до отражающей поверхности) $P = P_0 (1 + \sin 2kl / 2kl)$. Погрешность измерений в этом случае составляет

$$\delta = 10 \lg \left(1 + \sum_{i=1}^m \sin 2kl / 2kl \right), \quad (11)$$

где c - скорость звука в воздухе, м/с; m - число отражающих поверхностей; $i = 1, 2, 3, \dots$

Расчетные значения δ по формуле (11) для октавных полос 63, 125 и 250 Гц при расстоянии до отражающей плоскости $l = 0,2 - 0,3$ м составляют соответственно в среднем 3, 2,3 и 1,7 дБ, а при наличии двух отражающих поверхностей - 5, 4 и 2,2 дБ.

Полученные по ориентировочному методу V значения УЗМ испытанных машин превышают соответствующие значения по методам I, II, III на 1-4 дБ вследствие неучета расположения локальных излучателей шума в объеме машины и неравномерности распределения измерительных точек на измерительной поверхности. Величины СКО для методов IV и V составляют в среднем 2,5- 3 5 дБ, т.е. эти методы значительно уступают по точности методам I, II, III.

Разница между УЗМ по уточненному методу I для одной машины и группы однотипных машин в среднем не превышает 2 дБ и лежит в пределах СКО для одной машины. СКО для групп из 5 и более среднегабаритных машин (с размерами в пределах 7 м) составляют $s_1 = 4,9 - 6,7$ дБ и для групп из 3 и более крупногабаритных машин равны $s_2 = 4,2 - 5,4$ дБ и определяют современный технический уровень машиностроения. В случае проведения контрольных испытаний на одной машине измерительные значения УЗМ следует увеличивать на акустический допуск $\Delta = 0,4$ дБ, который для среднегабаритных машин следует принимать $\Delta_1 = 3$ дБ и для крупногабаритных $\Delta_2 = 2$ дБ. Для обеспечения по этому методу необходимой точности в пределах акустического допуска $\Delta = 2 - 3$ дБ должно быть испытано не менее 3 крупногабаритных и 5 среднегабаритных однотипных машин. Выполненные исследования точности измерений звуковой мощности машин в условиях эксплуатации с помощью уточненного метода I позволяют гарантировать акустический допуск в пределах 2-3 дБ, в то время как априори эта величина в соответствии со стандартом по статистической обработке результатов определения и контроля уровней шума машин принимается не менее 5 дБ.

Таким образом, разработанный уточненный метод I определения УЗМ машин в производственных условиях, учитывающий конструктивные особенности машин, их установку при испытаниях и усредненные акустические характеристики типовых производственных помещений предприятий, обеспечивает необходимую для проведения контрольных испытаний точность, равнозначную стандартным техническим методам и приближающуюся к точному методу измерений в заглушенной камере.

Литература.

1. Поболь О.Н. Шум в текстильной промышленности и методы его снижения. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 212 с.
2. Pobol O.N., Panov S.N., Firsov G.I., The Ecological Acoustics of Machines: System Simulation and Machine Control in the Technosphere // Fourth International Congress on Sound and Vibration (St.Petersburg, 24-27 June 1996): Proceedings / Ed. by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. Vol. 2. - St.Petersburg: 1996. - P.1107 - 1114.
3. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Проблемы технического нормирования шумовых характеристик текстильных машин и управление шумовым режимом в производственных цехах // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. Специальный выпуск: Безопасность. Технологии. Управление. 2007. Том 1. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2007. - С.277-280.
4. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Техносфера, ноосфера и экологические проблемы современных технологических систем // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. -- 2013. – Т.18, вып. 3. – С.1073-1076.
5. Tsukernikov I.E. Russian and international standards in the field of machinery noise. State and activity perspectives // Proc. of Fourth Int. Congress on sound and vibration. Vol. 2. - SPb.: 1996. – P.709-712.
6. Jacobsen F. A critical examination some of the field indicators that have been proposed in connection with sound power determination using the intensive technique // Proc. of Fourth Int. Congress on sound and vibration. Vol. 2. - SPb.: 1996. – P.1889-1896.
7. Hübner G. Qualification procedures for free-field condition for sound-power determination of sound sources and methods for the determination on the appropriate environmental corrections // Journal of Sound and Vibration. – 1977. – Vol. 61, No. 2. – P.456-464.
8. Hübner G. Sound intensity measurement method-errors in determinant the sound field power levels of machines and its correlation with sound field indicators // Proc. Internois-87. – Beijing, 1987. – P.1227-1230.
9. Kurze U.I. Gerauschemissionsmessungen an grossen Maschinen // Z. Lärmbedämpfung. – 1992. – Bd. 39, No. 5. – S.129-134.
10. Поболь О.Н. Определение уровней звуковой мощности машин в условиях эксплуатации // Измерительная техника. – 1983. - № 1. – С.71-73.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПЕЧАТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*С.В. Литовкин, ассистент, Ю.Р. Петькова, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: Protoniy@yandex.ru*

В восьмидесятых годах прошлого века начинает развиваться технология создания трехмерных объектов не способом изменения формы (штамповка) или способом удаления материала (например, фрезерование), а при помощи технологии наращивания материала или изменения его агрегатного состояния. Данная технология получила термин – быстрое прототипирование. В настоящий момент произошло «ответвление» и появление 3D печати. В данной «технологии» используются специальные устройства, позволяющие различными способами создавать объемные детали. В настоящее время (2014 год) технология 3D печати развивается стремительными темпами. Появляются не только промышленные установки, но и вполне доступные «бытовые» принтеры. Так же стоит обратить внимание на большое количество энтузиастов, целых коллективов, да и просто обычных людей из различных социальных сфер создающих свои уникальные 3D принтеры.

Технологии 3D печати стали использоваться в различных отраслях промышленности, помогать людям, реализовывать сложные проекты, упрощать технологию. Цель данной статьи привести примеры использования технологии 3D печати в различных областях науки и техники.

Медицина.

В декабре 2013 года была проведена успешная операция по замене верхней части черепной коробки. «22 летней девушке из Нидерландов с хроническим заболеванием костей... сделали успешную пересадку верхней части черепной коробки, заменив её на пластиковый имплантат, напечатанный на 3D принтере. Новый орган сделан из полупрозрачного пластика. Операция заняла 23 часа... Её провела группа хирургов в Университетском медицинском центре Утрехта. По заявлению представителей университета, это первый в мире случай пересадки черепа, который не был отторгнут организмом.» [1].

Изготовлены различные протезы. Главная особенность созданных по 3D технологии имплантов, заключается в очень точной копии изготовления. При помощи специального сканера создается компьютерная модель, которую в дальнейшем распечатывают на специальном оборудовании. При использовании традиционной технологии не возможно достичь точности, но главное это не точность, а не возможность изготовить деталь с очень сложной конфигурацией и при этом она должна оставаться монолитной.

Оружие

5 мая 2013 года опубликована первая новость [2] о разработанном пистолете, Liberator («Освободитель») полностью напечатанном на 3D принтере. Речь идет об огнестрельном однозарядном оружии, способном стрелять боевыми патронами. Пистолет полностью создается при помощи 3D принтера, очень прост в конструкции и ремонте, все элементы выполнены из пластмассы, всего 16 деталей. В конструкции только одна металлическая деталь – боек. Пистолет способен выдержать до 11 выстрелов, после чего ствол разрушается и требует замены. Через четыре дня после публикации и распространению исходных файлов для печати власти США потребовали закрыть [3] к ним доступ. Обоснованием для критики послужила возможность скачивать исходные файлы за пределами США, а так же не возможность обнаружить пистолет металло детекторами.

23 июля 2013 года появилось видео на Youtube [4], где канадский энтузиаст, называющий себя в сети ThreeD Ukulele, проводит испытания ружья "The Grizzly", полностью распечатанного на 3D принтере [5, 6].

7 ноября 2013 года в блоге Техасской компании Solid Concepts [7] появилась новость : «World's First 3D Printed Metal Gun» (Первый металлический пистолет, напечатанный на 3D-принтере). Инженеры компании первыми в мире создали металлический пистолет при помощи технологии прямого лазерного спекания (методом DMLS). Авторы ставили своей задачей показать современные возможности технологии 3D печати, именно промышленной технологии. В качестве оригиналы был взят легендарный пистолет M1911 (создатель Джон Браунинг). Все детали были изготовлены на принтере, кроме пружины. После печати требовалась полировка деталей, это было сделано в ручную. «Во время испытаний пистолет доказал высокую точность стрельбы. Представители компании говорят, что напечатали пистолет не для того, чтобы сделать этот процесс более дешёвым

и доступным каждому обывателю, а просто чтобы продемонстрировать надёжность деталей, изготовленных методом DMLS» [8].

Существуют и другие модели пистолетов, изготовленных при помощи технологии 3D печати. Безусловно все это вызывает озабоченность у властей, делает оружие доступным, более скрытным. Трудно представить какие последствия ожидают мир от данной технологии. Но с другой стороны, традиционное оружие ни куда не делось, и продается как легально, так и не легально.

Машиностроение.

В мае 2013 года китайские инженеры продемонстрировали элементы силовых узлов планера истребителя, изготовленных при помощи технологии лазерной 3D печати. "Представленная деталь является несущей частью планера и служит держателем для реактивных двигателей современного истребителя пятого поколения. Применения подобной технологии позволяет делать монолитной деталь, что уменьшает вес, стоимость и увеличивает прочность и точность." [9, 10]

В феврале 2013 года появилась новость [11] о создании автомобиля, большая часть деталей которого изготовлена при помощи технологии 3D печати. Проект получил название Urbee 2, его цель – создание самого экологичного автомобиля в мире. Автомобиль является не концептом, а серийной моделью. Все пластиковые элементы (50 элементов) распечатаны на 3D принтере. Автомобиль приводит в движение гибридная силовая установка состоящая из двух электромоторов и двигателя внутреннего сгорания [12].

В июле 2013 года NASA [13] сообщила об успешном испытании инжектора ракетного двигателя. Инжектор был создан при помощи технологии 3D печати. Испытания прошли успешно. Затраты на производство составляют 30% от стоимости по традиционной технологии.

Строительство.

Технологии объемной печати позволяют "строить" жилые и бытовые объекты различного назначения. Печать производится с использованием традиционных вяжущих материалов (гипс, цемент). Экструдер или печатающая головка дозированно подает раствор в зону печати и послойно наращивает деталь. При таком способе возведения стен к раствору предъявляются особые требования, он должен быть достаточной влажности что бы начался процесс схватывания и в то же время не достаточно жидким что бы держать форму.

Китайская компания из Шанхая WinSun, в конце 2013 года представила бетонные дома, напечатанные на 3D принтере [14]. Принтер имеет размеры 150x10x6 метров, и позволяет напечатать 10 построек за сутки. В качестве строительного материала используется смесь из переработанных строительных и промышленных отходов, а также шахтных отвалов (рис1).



Рис. 1. Напечатанное здание, процесс печати

Вывод

Технология 3D печати очень сильно развивается. Появляются новые устройства позволяющие осуществлять 3D печать. Расширяются сферы применения технологии, её внедрение уже в существующие процессы производства. Создание подобных принтеров занимаются как энтузиасты одиночки, группы инженеров, так и серьезные агентства.

В тоже время возникают новые проблемы. Появление огнестрельного оружия, распечатанного на 3D принтере, создает угрозу для граждан. Такое производство оружия делает его доступным, а используемые материалы мало заметным и не поддающимся детектированию. Для мошенников открываются новые возможности. Становится доступным скрытно изготавливать различные клеше и печати для документов очень высокой точности. Распечатывать поддельные наклейки для банкоматов.

В медицине становится возможным создавать точные копии поврежденных частей скелета. При этом получаемые материалы обладают уникальными свойствами, они долговечны и не отторгаются организмом.

Использование 3D печати в строительстве позволяет перерабатывать отходы промышленности. Для печати используются гидравлические вяжущие в качестве добавки к которым можно добавлять золошлаковые отходы.

Автор не считает, что совершенствование и развитие технологии 3D печати может кардинально и качественно изменить мир в недалеком будущем. Причина проблем в самом человеке, и решать их должны не технологии, а люди.

Литература

1. Анатолий Ализар, Девушке поставили новый череп, напечатанный на 3D-принтере // URL: <http://habrahabr.ru/post/217293/> (дата обращения: 30.03.2014)
2. John Biggs What You Need To Know About The Liberator 3D-Printed Pistol URL: <http://techcrunch.com/2013/05/06/what-you-need-to-know-about-the-liberator-3d-printed-pistol/> (дата обращения: 30.03.2014)
3. Власти США потребовали убрать из Сети «печатаемый» пистолет URL: <http://lenta.ru/news/2013/05/10/blueprints/> (дата обращения: 30.03.2014)
4. Видео портал YouTube // URL: http://www.YouTube.com/watch?v=Ow3IO_ViXkk&feature=player_embedded (дата обращения: 30.03.2014)
5. Кирилл, Распечатанное оружие // URL: <http://habrahabr.ru/post/188122/> (дата обращения: 30.03.2014)
6. Канадец испытал «печатаемую» винтовку // URL: <http://lenta.ru/news/2013/07/26/thegrizzly/> (дата обращения: 30.03.2014)
7. World's First 3D Printed Metal Gun // URL: <http://blog.solidconcepts.com/industry-highlights/worlds-first-3d-printed-metal-gun/> (дата обращения: 30.03.2014)
8. Анатолий Ализар, Первый металлический пистолет, напечатанный на 3D-принтере // URL: <http://habrahabr.ru/post/201356/> (дата обращения: 30.03.2014)
9. Китай начал печатать на 3D принтере военные самолёты // URL: <http://www.military-informant.com/index.php/industry/3058-1.html> (дата обращения: 30.03.2014)
10. Aleksandr Sokoloff, Китай начал печатать военные самолёты // URL: <http://sokoloff.livejournal.com/551886.html> (дата обращения: 30.03.2014)
11. Alexander George, 3-D Printed Car Is as Strong as Steel, Half the Weight, and Nearing Production // URL: <http://www.wired.com/autopia/2013/02/3d-printed-car/> (дата обращения: 30.03.2014)
12. Marks, Urbee 2: реальный автомобиль, отпечатанный на 3D принтере // URL: <http://habrahabr.ru/post/171135/> (дата обращения: 30.03.2014)
13. NASA, Industry Test "3D Printed" Rocket Engine Injector // URL: <http://www.nasa.gov/content/nasa-industry-test-3d-printed-rocket-engine-injector/#.UeQoa43VCWw> (дата обращения: 30.03.2014)
14. www.3ders.org <http://www.3ders.org/articles/20140401-10-completely-3d-printed-houses-appears-in-shanghai-built-in-a-day.html>

ЦИКЛОН С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И САМОРАЗГРУЖАЕМЫМ БУНКЕРОМ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Б.Ч. Месхи, д.т.н., проф., Ю.И. Булыгин, д.т.н., проф., Л.Н. Алексеенко, к.т.н., доц.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

344000, г. Ростов-на-Дону, пр. Гагарина, 1, тел./факс (863)27 38 665

E-mail: alekseenko.donstu@mail.ru

На металлообрабатывающих и деревообрабатывающих предприятиях России циклоны являются основным оборудованием для отделения воздуха от металлической пыли и древесных частиц в аспирационных и пневмотранспортных системах. Применяются они как индивидуально, в виде навесного оборудования на станках, так и с системами пневмотранспорта [1]. В соответствии с правилами техники безопасности станки, на которых обрабатываются хрупкие материалы (чугун, бронза, латунь, а также пластмассы и другие неметаллические материалы), должны быть оборудованы пыле-

стружекоприемниками, присоединенными к индивидуальным или групповым устройствам (отсосам) для удаления пыли и стружки с мест их образования. Где это не выполняется, концентрация пыли в рабочей зоне у станков находится в пределах $20-446 \text{ мг/м}^3$, что значительно превышает предельно допустимую концентрацию, установленную санитарными нормами и не допустимо. Поэтому весьма актуальными являются исследования, направленные на поиск методов и способов повышения эффективности работы систем аспирации (рис.1), в том числе за счёт совершенствования самой системы очистки воздуха.

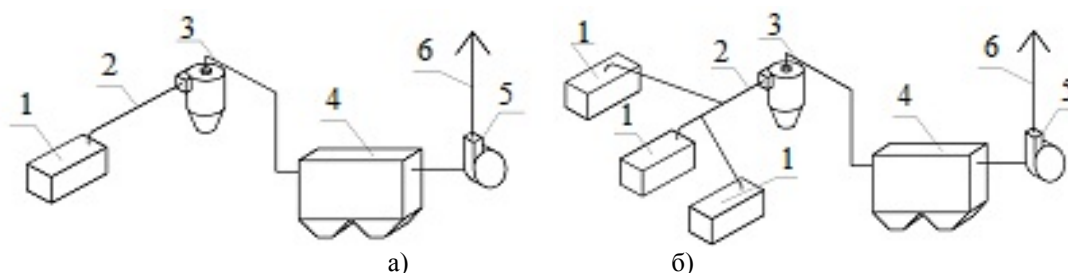


Рис. 1. Принципиальная схема а) децентрализованной и б) централизованной системы аспирации: 1 – аспирационные укрытия; 2 – система воздуховодов; 3 – первая ступень очистки воздуха (циклон); 4 – вторая ступень очистки воздуха (рукавный фильтр); 5 – побудитель тяги (вентилятор); 6 – выброс аспирационного воздуха в атмосферу

Задачей исследования явилось повышение эффективности процесса пылеулавливания отходящих газов технологических процессов за счёт создания новой конструкции циклонного аппарата, предусматривающей возможность регулирования его конструктивных параметров в зависимости от свойств и характеристик пылевоздушной среды. Поскольку эффективность газоочистки в цилиндрических циклонах, как правило, не высока и не превышает 92%, поэтому весьма актуальными являются исследования, направленные на поиск конструкций аппаратов повышающих эффективность пылеулавливания. На кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета в течение последних лет ведется НИР по исследованию аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания циклонных аппаратов различной формы [3,4].

В настоящее время не существует единого критерия для выбора оптимальной формы циклонов, однако в конструкциях наиболее современных циклонов все четче проявляется тенденция развития конусной части [2,3]. Между геометрической формой циклонов и их эффективностью существует целый ряд связей, которые проявляются через сложную аэродинамику течений, возникающих в этих аппаратах [3,4].

Одним из предлагаемых технических решений является циклонный аппарат, выполненный в виде обратного конуса без цилиндрической части (рис.2). Для решения поставленной задачи была собрана экспериментальная установка «Циклон» [3,4], на которой проводились испытания цилиндрического и конического циклонных аппаратов.

С целью определения влияния формы циклона и его конструктивных параметров на эффективность процессов пылеосаждения в исследуемых циклонных аппаратах был проведен ряд опытов. На вход циклонных аппаратов подавалась смесь воздуха с материалами различной грануляции — электрокорунд, древесные опилки. Размеры фракций определялись с помощью ситового анализа. В результате материал был разделён на фракции, в каждой из которых частицы незначительно различаются размерами. Были определены значения расхода и скорости подаваемого воздуха в циклон $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($V = 15 \text{ м/с}$) при входных концентрациях древесной пыли $9,45 \text{ г/м}^3$, электрокорунда $37,79 \text{ г/м}^3$, когда не происходит выброс сыпучего материала из выхлопного патрубка.

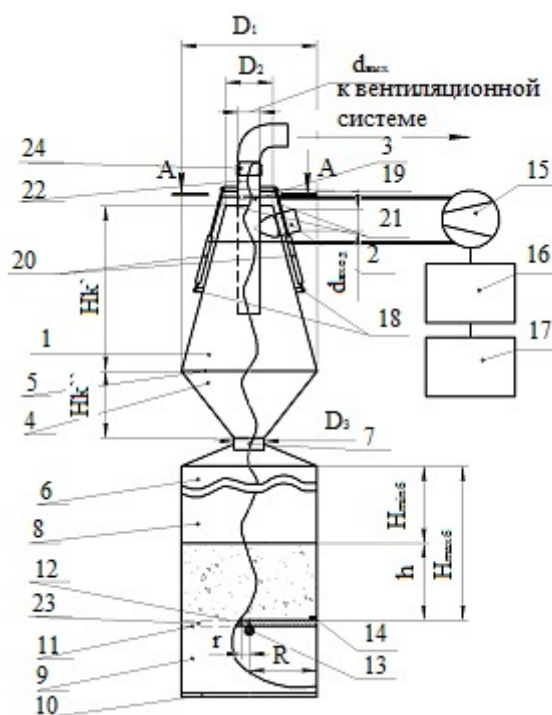


Рис. 2. ЦОК: 1 — верхний конус циклона; 2 — входной патрубок; 3 — выхлопной патрубок; 4 — нижний конус циклона; 5 — основания конусов; 6 — пылесборник; 7 — патрубок; 8 — верхний отсек пылесборника; 9 — нижний отсек пылесборника; 10 — задвижка; 11 — перегородка; 12 — полукруглые люки; 13 — противовесы; 14 — ось, относительно которой вращается перегородка; 15 — нагнетательное устройство; 16 — блок управления; 17 — источник питания; 18 — кольцевой упор; 19 — проушины; 20 — основания пневмоцилиндров; 21 — выдвигаемые штоки пневмоцилиндров; 22 — шкала с делениями; 23 — кольцевой упор; 24 — гофра, соединяющая выхлопной патрубок с вентиляционной системой

Далее измерялась масса пыли в бункере и рассчитывался коэффициент пылеочистки. Результаты экспериментальных исследований показали, что коэффициент пылеочистки у конического циклона выше, чем у цилиндрического как для древесной пыли, так и для электрокорунда. Эффективность пылеулавливания коническим циклоном оказалась более чем на 10-15% выше, чем цилиндрического аппарата. Высота циклонных аппаратов одинакова, составляла 500 мм. Были проведены исследования глубины погружения патрубка на эффективность пылеулавливания в диапазоне частиц электрокорунда от 40 до 315 мкм (Рис. 3).

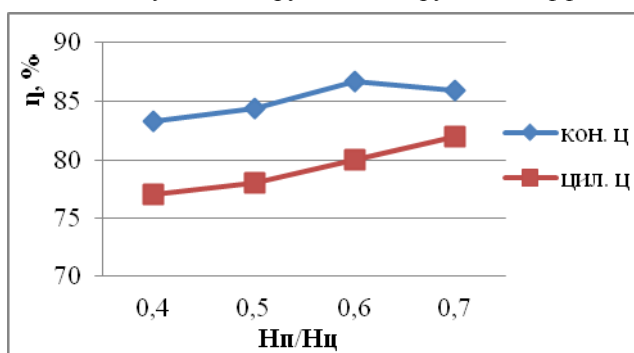


Рис. 3. Эффективность пылеулавливания электрокорунда коническим и цилиндрическим циклонами в зависимости от отношения глубины погружения выхлопного патрубка к высоте рабочей части циклонов при среднем медианном размере частиц пыли $d = 63$ мкм и $V_б/V_{кц} = 0,18$

электродорунда от 40 до 315 мкм (Рис. 3). Отношение высоты погружения патрубка $H_{п}$ к высоте циклона $H_{ц}$ соответственно: для глубины погружения 200 мм — $H_{п}/H_{ц} = 0,4$; для глубины погружения 250 мм — $H_{п}/H_{ц} = 0,5$; для глубины погружения 300 мм — $H_{п}/H_{ц} = 0,6$; для глубины погружения 350 мм — $H_{п}/H_{ц} = 0,7$.

Бункер играет немаловажную роль в процессах пылеосаждения, поэтому были проведены исследования влияния объема бункера на эффективность пылеулавливания циклонными аппаратами (Рис. 4) электрокорунда в диапазоне частиц 40-315 мкм, при объеме циклона 27 л, с объемами бункеров 19, 30 и 60 л. Соотношение объема бун-

кера к рабочему объёму циклона, соответственно: для бункера объемом 19 л: $V_б/V_{кц}=0,7$; для 30 л: $V_б/V_{кц}=1,11$, для 60 л: $V_б/V_{кц}=2,22$. Как выяснилось, эффективность пылеочистки выше у конического циклона по сравнению с цилиндрическим и достигает максимума при объеме бункера 60 л.

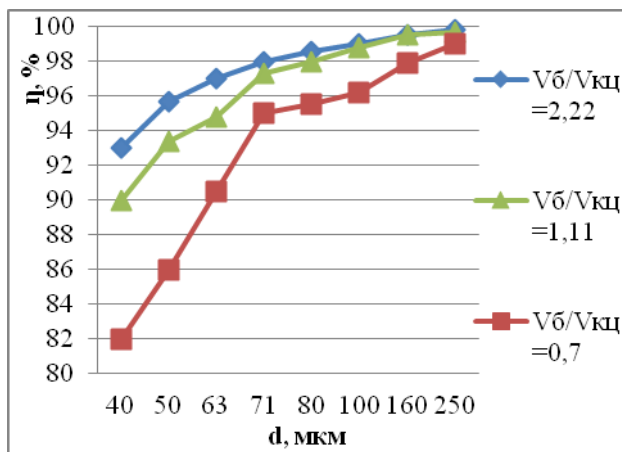


Рис. 4. Эффективность пылеулавливания электрокорунда коническим циклоном в зависимости от дисперсного состава, отношения объема бункера к рабочему объёму циклона при оптимальном соотношении $H_п/H_{ц}=0,6$

от $\frac{1}{2}$ (объём бункера – 60л) до 1 (объём бункера – 30л). Далее измерялась масса опилок в дозаторе до улавливания циклоном и после с помощью точных электронных весов и рассчитывался коэффициент пылеочистки.

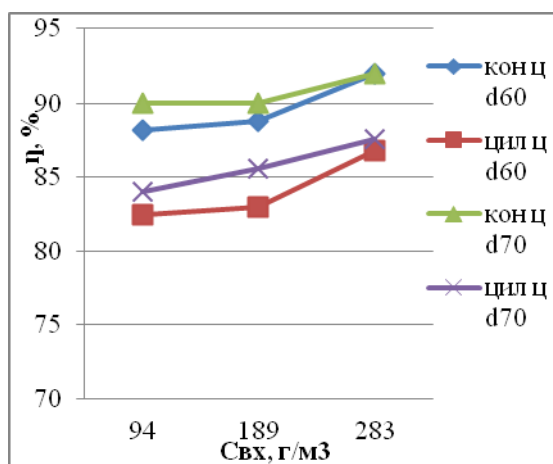


Рис. 5. Зависимость эффективности пылеулавливания древесной пыли коническим и цилиндрическим циклонами в бункере на 60 л от разной входной концентрации: для частиц размером 60 и 70 мкм

входной патрубков размещён в верхней части боковой поверхности обратного усечённого конуса, верхний вертикальный выхлопной патрубок, выполнен с возможностью вертикального перемещения, нижний прямой усеченный конус соединен с патрубком, погруженным через конус внутрь пылесборника, разделенного перегородкой на верхний и нижний отсеки (рис.2).

Новая конструкция циклона потребовала инновационных решений. К ним относятся снабжение обратного усечённого конуса циклона пневмоцилиндрами, соединенным с ними нагнетательным устройством, блоком управления и источником питания. Для оперативного определения и контроля режимов пылеулавливания на внешней стороне верхнего вертикального выхлопного патрубка предусмотрена индикаторная шкала с делениями. От циклона требуется высокая эффективность пылеулав-

Таким образом, характеристики циклонов зависят не только от их конструктивных особенностей и величины расхода пылевоздушного потока, но и от объема и конструкции пылесборного бункера и можно предположить, что чем больше объем бункера, тем выше эффективность пылеулавливания.

Также на экспериментальной установке были проведены сравнительные исследования циклонов, которые показали, что с увеличением входной концентрации пыли в воздухе эффективность пылеулавливания увеличивается, причем у конического аппарата значительно, чем у цилиндрического. Расход воздуха устанавливался равным $0,00882 \text{ м}^3/\text{с}$, скорость воздушного потока $4,5 \text{ м/с}$; глубина погружения выхлопного патрубка была установлена $h=300\text{мм}$, отношение объёма рабочей части циклона к объёму бункера изменялось

Как видно из графиков (рис. 5.), полученным в результате обработки экспериментальных данных, коэффициент пылеочистки у конического циклона выше, чем у цилиндрического, что еще раз подтверждает его лучшую эффективность.

В результате был предложен пылеулавливатель с обратным конусом и регулируемы параметрами [5]. Пылеулавливатель обладает существенными достоинствами по сравнению с аналогичными аппаратами, имеющими цилиндрический и конический корпус и пылесборники для удаления улавливаемой пыли. К ним относятся более высокая эффективность очистки воздуха от пыли и сравнительно невысокие гидравлические сопротивления аппарата.

Преимущества достигаются за счет ряда конструктивных решений: циклон выполнен в виде обратного конуса, соединённого с прямым усеченным конусом по их основаниям,

ливания. Под этим требованием понимается, в том числе, высокая скорость осаждения частиц пыли, что возможно при размещении входного патрубка на конической боковой поверхности, то есть под углом к корпусу циклона. Данное техническое решение позволяет усилить спиралеобразное движение входящего воздуха и, тем самым, приводит к увеличению скорости осаждения частиц пыли [6].

Техническая реализация идеи оказания влияния на вынос пыли вторичных вихревых потоков, образующихся за счет аэродинамических процессов внутри циклонного аппарата, может быть осуществлена выполнением выхлопного патрубка с возможностью вертикального перемещения с изменением глубины погружения патрубка в зависимости от плотности пыли. Экспериментально подтвердилось, что с увеличением глубины погружения выхлопной трубы наблюдается повышение эффективности, связанное с уменьшением выноса вторичным течением пыли, не успевшей при меньшем погружении за короткое время формирования вращающегося потока перейти из слоев воздуха, опускающихся вдоль выхлопной трубы, в более удаленные слои. При дальнейшем погружении эффективность вновь падает. Экспериментально определено, что оптимальная глубина погружения не должна превышать 0,2...0,6 высоты рабочей части циклона. Кроме того, соединение прямого конуса циклона с обратным конусом бункера выполнено за счёт патрубка. Это имеет существенное значение для снижения турбулентности на входе в пылеприёмник и обеспечения равномерного осаждения пыли на горизонтальную поверхность. Сужение перехода между циклоном и бункером целесообразно для уменьшения обратного выноса пылевидных частиц в тело циклона [6].

Конструктивной особенностью аппарата является также то, что соотношение объёмов циклона и рабочей зоны пылесборника выбирается в оптимальных пределах, определенных для разной пыли 1,0...1,8 [6]. Соотношения объёмов циклона и рабочей зоны пылесборника оказывают влияние на динамическое поведение своеобразного смерча, образующегося в циклоне. Смерч продолжает своё движение в пылесборнике и имеет в центре винтообразное движение пылегазового потока направленное вверх. Изменение соотношения этих объёмов приводит к увеличению этого движения вверх и тем самым, к снижению степени очистки. Процессу выделения пылинок из потока в циклоне предшествует его закручивание за счет спирального ввода и движение далее по нисходящей винтовой линии вдоль стенок аппарата. В зависимости от вида и плотности пыли выбирается оптимальная высота выхлопной трубы (глубина её погружения в тело аппарата) за счет подъема патрубка пневмоцилиндрами [6].

Конструкция пылесборника предусматривает выполнение условия поддержания его объема в заданных пределах. Пыль прежде, чем попасть в нижний отсек пылесборника, двигаясь спиралеобразно, оседает на поверхности, например, самооткрывающейся перегородки в верхнем отсеке пылесборника. Пыль равномерным слоем опускается на полукруглые люки, например, из сотового углепластика и уравновешивающие их полукруглые стальные противовесы. При этом на небольшие поверхности противовесов действует значительно меньший вес пыли. Конструктивно противовес выполняется массой, позволяющей в пустом пылесборнике поддерживать равновесие самооткрывающейся перегородки. При достижении высоты допустимого слоя пыли в верхнем отсеке пылесборника, полукруглые люки поворачиваются за счет действия веса пыли относительно продольной оси циклона. Пыль сбрасывается в нижний отсек пылесборника и полукруглые люки возвращаются в исходное положение, обеспечивая заданный объем пылесборника и эффективную очистку воздуха. Данный циклонный аппарат может быть включён в систему удаления пыли и стружки как индивидуально (навесной агрегат на станке), так и в групповую систему пневмотранспорта. Тем более, что для управления пневмоцилиндрами ЦОК может быть использован либо нагнетательный агрегат, либо внутрицеховой пневмопровод с сжатым воздухом, что делает обслуживание пылеулавливателя более технологичным.

Была разработана инженерная методика расчёта ЦОК с регулируемыми параметрами. Примерный расчет ЦОК для групповой системы очистки пыли в деревообрабатывающем цехе представлен ниже.

Конический циклон рассчитывается в соответствии с производительностью $Q = 5700 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1,58 \text{ м}^3/\text{с}$), исходя из требуемых технологических параметров пылеулавливающих устройств каждого деревообрабатывающего станка, включенного в общую систему борьбы с пылью.

Дальнейший расчет выполняется в следующем порядке:

1. Расчет входного патрубка:

$$\text{- расход воздуха через входной патрубок циклона: } Q_{\text{вх}} = \frac{Q}{3600} = 1,58 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (1)$$

- скорость воздуха на входе в циклон принимаем равной $V_{вх} = 20$ м/с (из условия того, что максимальная эффективность очистки воздуха от легких видов пыли достигается при $V_{вх} > 10$ м/с);

- диаметр сечения входного патрубка определяем по формуле:

$$d_{вх} = (4 \cdot Q_{вх} / (\pi \cdot V_{вх}))^{0,5} = (4 \cdot 1,58 / (3,14 \cdot 20,0))^{0,5} = 0,317 \text{ м}; \quad (2)$$

- уточняем диаметр сечения входного патрубка, округляя его расчетное значение до ближайшего стандартного $d_{вх} = 0,330$ м;

- по полученному значению $d_{вх}$ с использованием формулы (2) определяем откорректированную скорость пылевоздушного потока $V_{вх} = 18,48$ м/с.

2. Расчет выхлопного патрубка:

- расход воздуха через выхлопной патрубок в соответствии с условиями неразрывности потока в шаровом циклоне принимаем равным $Q_{вых} = 1,58$ м³/с;

- скорость очищенного от пыли воздуха на выходе из циклона принимаем равной $V_{вых} = 15$ м/с;

- определяем диаметр сечения выхлопного патрубка:

$$d_{вых} = (4 \cdot Q_{вых} / (\pi \cdot V_{вых}))^{0,5} = (4 \cdot 1,58 / (3,14 \cdot 15,0))^{0,5} = 0,366 \text{ м}; \quad (3)$$

- уточняем диаметр сечения выхлопного патрубка, округляя его расчетное значение до ближайшего стандартного $d_{вых} = 0,360$ м;

- по полученному значению $d_{вых}$ определяем откорректированную скорость пылевоздушного потока $V_{вых} = 15,96$ м/с.

3. Расчет конического корпуса

- диаметр эквивалентного цилиндрического циклона (рабочей части циклона) определяем по известной формуле, исходя из заданной производительности:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{\pi \cdot Q_{вх}}{4 \cdot \omega_{опт}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 1,58}{4 \cdot 3,5}} = 0,758 \text{ м}, \quad (4)$$

где $\omega_{опт} = 3,5$ м/с – оптимальная скорость пылевоздушного потока в теле аппарата для наиболее распространённого циклона ЦН-15;

- принимаем стандартный ближайший размер диаметра циклона $D_{ц} = 0,8$ м и остальные типоразмеры аппарата;

- определяем полный объём рабочей части эквивалентного цилиндрического аппарата ЦН-15 по формуле:

$$\begin{aligned} V_{ЦН-15} &= H_{ц} \cdot \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} + \frac{\pi}{12} \cdot H_{к} \cdot (D_{ц}^2 + D_{ц} + d_1 + d_1^2) = \\ &= 1,808 \cdot \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} + \frac{\pi}{12} \cdot 1,6 \cdot (0,8^2 + 0,8 + 0,24 + 0,24^2) = 1,28 \text{ м}^3 \end{aligned} \quad (5)$$

- учитываем, что объём рабочей части конического циклона должен быть равен объёму эквивалентного цилиндрического аппарата:

$$V_{КЦ} = \frac{\pi}{12} \cdot [H_{к}^{\cdot} \cdot (D_1^2 + D_1 + D_2 + D_2^2) + H_{к}^{\cdot\cdot} \cdot (D_1^2 + D_1 + D_3 + D_3^2)] = V_{ЦН-15} \quad (6)$$

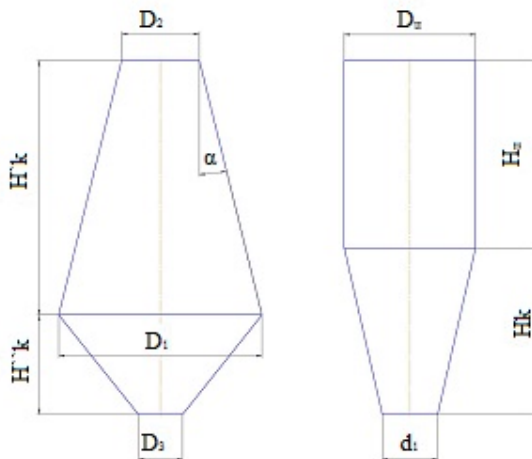


Рис. 6. Расчётная схема

где D_1 и D_2 - диаметры основания и вершины конуса, $H_{к}^{\cdot}$ - высота верхней конусной части аппарата, $H_{к}^{\cdot\cdot}$ - высота нижней конусной части аппарата (рис.6);

- уравнение, связывающее высоту конуса с диаметрами его оснований:

$$D_1 - D_2 = 2 \cdot H_{к}^{\cdot} \cdot \text{tg}(\alpha), \text{ м}; \quad (7)$$

угол уклона конуса ЦОК не изменяется и принимается $\alpha = 15^\circ$.

- высоты ЦОК $H_{к}^{\cdot}$, $H_{к}^{\cdot\cdot}$ определяем по формулам (8), (9):

$$H_{к}^{\cdot} = k_1 \cdot D_1, \text{ где } k_1 = 1 \quad (8)$$

$$H_{к}^{\cdot\cdot} = k_2 \cdot D_1, \text{ где } k_2 = 0,4 \quad (9)$$

- диаметр патрубка нижнего конуса принимаем равным диаметру выхлопного патрубка:

$$D_3 = D_{\text{вых}} \quad (10)$$

- подставляя уравнения (7), (8), (9) и (10) в уравнение (6), получим окончательное кубическое уравнение (11) для определения D_1 :

$$\left[\frac{\pi}{12} \cdot k_1 \cdot (3 - 6 \cdot k_1 \cdot \text{tg}(\alpha) + 4 \cdot k_1^2 \cdot \text{tg}^2(\alpha)) + \frac{\pi}{12} \cdot k_2 \right] \cdot D_1^3 + \frac{\pi}{12} \cdot k_2 \cdot D_3 \cdot D_1^2 + \frac{\pi}{12} \cdot k_2 \cdot D_3^2 \cdot D_1 - V_{\text{ЦН-15}} = 0 \quad (11)$$

- из него численным методом определяем следующие параметры ЦОК: $D_1=1,301$ м, $D_2=0,604$ м, $H_K = 1,301$ м; $H_K = 0,520$ м.

- учитывая конструктивные особенности конического циклона, примем окончательно размеры: $D_1=1,3$ м, $D_2=0,6$ м, $H_K = 1,3$ м, $H_K = 0,52$ м, $V_{\text{КЦ}}=1,28$ м³.

4. Расчет верхнего отсека пылесборника (бункера):

- диаметр верхнего отсека пылесборника (бункера) принимаем из требований к габаритным размерам ЦОК $D_6=1,3$ м;

- объем верхнего отсека пылесборника (бункера) циклона в виде усеченного конуса определяется из следующего условия, которое обеспечивает высокую эффективность пылеулавливания:

$$1 \leq \left(\frac{V_6}{V_{\text{КЦ}}}_{\text{отм}} \right) \leq 2, \quad (12)$$

- определяем максимальный объем верхнего отсека пылесборника (бункера) и минимально допустимый:

$$V_6^{\text{max}} = 2 \cdot 1,28 = 2,56 \text{ м}^3, \quad V_6^{\text{min}} = 1,28 \text{ м}^3.$$

- максимальная (габаритная) и минимальная высота бункера, имеющего цилиндрическую форму, определяются из формулы: $H_6 = \frac{4 \cdot V_6}{\pi \cdot D_6^2}$, (13)

где D_6 - диаметр бункера можно принять равным D_1 .

$$H_{6\text{max}} = \frac{4 \cdot 2,56}{\pi \cdot 1,3^2} = 1,93 \text{ м}, \quad H_{6\text{min}} = \frac{4 \cdot 1,28}{\pi \cdot 1,3^2} = 0,97 \text{ м}.$$

- высота допустимого слоя пыли в верхнем отсеке пылесборника равна (рис.6):

$$h = H_{6\text{max}} - H_{6\text{min}} = 1,93 - 0,97 = 0,96 \text{ м}. \quad (14)$$

6. Расчет нижнего отсека сборника древесной пыли (устанавливается под циклоном с обратным конусом):

- объем пылесборника определяется временем его заполнения с учетом эффективности очистки воздуха от древесной пыли в ЦОК с регулируемыми конструктивными параметрами. Так как по результатам замеров массовый выброс пыли для рассматриваемого производственного участка составляет $M_{\text{сут}} = 270$ кг/сут, то с учетом плотности древесной пыли $\rho = 213,9$ кг/м³ объем удаляемой из очищаемого в циклоне воздуха за сутки пыли определен по формуле:

$$V_{\text{п}} = M_{\text{сут}}/\rho = 270,0/213,9 = 1,26 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (15)$$

Исходя из конструктивных особенностей пылесборника и на основании эргономических требований принимаем к установке пылесборник $h = 0,96$ м и диаметром $D_6 = 1,3$ м;

- объем нижнего отсека сборника древесной пыли определяется по формуле:

$$V_{\text{н-с}} = h \cdot \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} = 0,96 \cdot \frac{\pi \cdot 1,3^2}{4} = 1,28 \text{ м}^3 \quad (16)$$

Тогда время заполнения пылесборника составит: $\tau = 24 \cdot (V_{\text{п-с}}/V_{\text{п}}) = 24 \cdot (1,28/1,26) = 24,4$ часов, а периодичность удаления древесной пыли из пылесборника соответственно составит $1/\tau$, т.е. 1 раз в сутки.

Использование данного пылесборника позволит сократить периодичность удаления пыли и упростить обслуживание циклона с обратным конусом по сравнению, например с шаровым аппаратом.

Кроме того, особенности конструкции самооткрывающейся перегородки в верхнем отсеке пылесборника позволяют выполнить требования нормативных документов, которые устанавливают требования к сухим пылеулавливателям вентиляционных систем.

Литература.

1. Власов А.Ф. Удаление пыли и стружки от режущих инструментов. – 3-ие изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982 - 240 с.
2. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха / А. И. Пирумов. — Москва: Стройиздат, 1981. — 296 с.
3. Месхи, Б.Ч. Влияние конструктивных особенностей циклонных аппаратов на их аэродинамические свойства / Б. Ч. Месхи, Ю. И. Булыгин, А. Н. Михайлов, А. В. Потёмкина, О. С. Панченко // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 12. – С. 22–28.
4. Потемкина А.В. Теоретические и экспериментальные исследования влияния глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства и эффективность циклонных аппаратов/А.В. Потемкина, Е.С. Лукаш//Вестник ДГТУ. – Ростов-на-Дону, 2010. – Т.10. - №4(47). – С.526-533.
5. Патент РФ № 2506880 от 20.02.2014. Пылеулавливатель /Месхи Б.Ч., Михайлов А.Н., Булыгин Ю.И., Алексеенко Л.Н., Денисов О.В., Панченко О.С.
6. Булыгин Ю.И. Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств/ Ю. И. Булыгин, В.А. Романов, О. С. Панченко, О.В. Денисов //Вестник ДГТУ.- Ростов-на-Дону, 2013. - № 7/8(75). - с.49-57

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЙОНОВ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.Ф. Торосян, к.пед.н., доц., Е.С. Торосян, ст. пр., В.П. Юшков, ст. гр.17Г30

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.(38455)-5-35-90

E-mail:torosjaneno@mail.ru

Превентивный подход к обоснованию хозяйственных решений связан с подписанием президентом США Р. Никсоном в 1970 г. законодательного акта "О национальной политике в области окружающей среды" (National Environmental Policy Act-NEPA). В 70-е годы XX в. многие страны мира: Канада, Япония, Великобритания, Шотландия, Нидерланды и др. стали использовать процедуру предшествующую реализации проектов и планов, позволяющую определить их экологическую допустимость (ОВОС).

В Канаде по ОВОС была издана Инструктивная директива, учитывающая не только природные, но и социально-экономические последствия реализации различных проектов. Она предполагала возможность учета региональных особенностей и являлась основой для принятия решений территориального развития; участие общественности в процессе принятия решений; сотрудничество экспертных групп различных уровней при рассмотрении национальных и международных проектов. [2-4].

В Великобритании ОВОС как и в США соответствовала Законам о городском и сельском планировании, способствовала разрешению противоречий между охраной окружающей среды и развитием промышленности, наносящей ей ущерб. В результатах ОВОС описывались предполагаемый вид и место реализации деятельности, проектно-конструкторские характеристики ее и масштабы; данные для оценки воздействий на окружающую среду; возможные воздействия (прямые или косвенные) на людей, растения, животных, почву, воду, воздух, климат, ландшафт, взаимодействие между ними, материальные ценности, культурное наследие; в случае выявления значительных негативных последствий — меры предупреждения, сокращения или смягчения этих воздействий; резюме в понятной для неспециалистов форме.

В Шотландии система ОВОС была использована в 1974 г. при планировании развития прибрежной зоны. В 1979 г. с учетом экологических требований были разработаны приоритетные направления развития промышленности и сохранения сельской местности.

В Нидерландах методика ОВОС внедрялась с 1979 г. по инициативе Министерства здравоохранения и окружающей среды и Министерства культуры, рекреации и социального благосостояния. В 1981 г. парламент принял законопроект об ОВОС, в котором предусматривались привлече-

ние независимых групп специалистов (экспертов) и обязательный учет общественного мнения при практическом осуществлении ОВОС [4].

В настоящее время законодательства об ОВОС приняты более чем в 120 государствах.

В России официальным началом деятельности по оценке воздействия на окружающую среду является утверждение СНиП 1.02.01-85 "О составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений", в котором содержалась рекомендация о необходимости включения "комплексной оценки оптимальности предусмотренных технических решений по рациональному использованию природных ресурсов и мероприятий по предотвращению отрицательного воздействия строительства и эксплуатации предприятия, сооружения на окружающую природную среду, включая флору и фауну" в раздел "Охрана природной среды"[1]. Однако эта рекомендация долгое время не выполнялась. На современном этапе законодательными предпосылками выполнения ОВОС являются требования Закона "Об охране окружающей среды" (№7-ФЗ от 10.01.2002 с изм. от 05.02.2007), где в ст.3 и ст.32 предписывается "...обязательность ОВОС при принятии решений об осуществлений хозяйственной и иной деятельности"; а также нормы Положения об оценке воздействия намеченной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации (утв. приказом Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 №372).

Для металлургических предприятий характерно интенсивное воздействие на окружающую среду. Основные направления воздействия этой отрасли на окружающую среду:

- изъятие минерально-сырьевых и экологических ресурсов;
- химическое и тепловое загрязнение;
- физическое воздействие.

Кемеровская область, на долю которой приходится около 4% территории Западной Сибири является промышленно развитым субъектом РФ. Река Томь является основным источником ее водоснабжения.

Анализ социально-экономического развития Кемеровской области за 1999 - 2010 г.г. показал региональную тенденцию экономического роста. С 1989 г. по 1998 г. в регионе наблюдался спад промышленного производства, так в 1998 г. выпуск промышленной продукции сократился по сравнению с 1991 г. в два раза. Наивысший пик социально-экономический кризис достиг в 1997 г. В 1998-2004 г.г. базовая отрасль Кемеровской области- угледобывающая обеспечила промышленный подъем в регионе, превысив в 1,6 раза показатели достигнутые в конце 1980-х годов. К 2006 г. выпуск промышленной продукции превысил показатели 1999 г. в 1,5 раза. Необходимо отметить, что в 2006 году было запущено в эксплуатацию металлургическое предприятие Юргинские ферросплавы, а на предприятии Юрмаш была завершена модернизация сталеплавильного производства.

Проблема состояния поверхностных вод районов размещения металлургических предприятий имеет два аспекта – количественный (ресурсный) и качественный. В целом оценка качества поверхностных вод (прежде всего степени их загрязненности) разработана относительно хорошо и базируется на весьма представительном пакете нормативных и директивных документов, использующих прямые гидрохимические и гидрологические методы и критерии оценки.

Оценка количественных аспектов водных ресурсов районов размещения металлургических предприятий (в том числе их загрязнения) преследует две цели:

- оценку возможности водных ресурсов для удовлетворения потребностей планируемой деятельности;
- оценку последствия возможного изъятия части водных ресурсов и загрязнения оставшихся ресурсов для других предприятий и жизнедеятельности населения.

Для таких оценок необходимо исходить из знания гидрологических особенностей и закономерностей режима водных объектов, являющихся источниками водоснабжения, а также существующих уровней водопотребления и объемов водных ресурсов, требуемых для реализации проекта. Что является оценкой прямого воздействия планируемой деятельности на количество водных ресурсов.

Большое значение имеют также *косвенные* воздействия, к которым относятся: нарушения русла рек, изменение поверхности водосбора, подпруживание (подтопление) при строительстве или понижении уровня грунтовых вод и др.

Ресурсные критерии оценки. Для поверхностных вод районов размещения металлургических предприятий в качестве оценки их ресурсов рекомендуются два наиболее емких показателя: величи-

на поверхностного (речного) стока или изменение его режима применительно к определенному бассейну и величина объема единовременного отбора воды. (Табл.1)

Таблица 1

Оценочные показатели	Классы состояния поверхностных вод			
	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
Изменение речного стока, % от первоначального	Не менее 15	15-20	50-70	Более 75
Объем возможного единовременного водоотбора, м ³ /с	Не менее 5	1-5	Менее 1	Отсутствует

Качественные критерии оценки. В связи со сложностью и разнообразием химического состава природных вод, а также возрастающим количеством загрязняющих веществ (для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения более 1625 вредных веществ, для водоемов рыбохозяйственного назначения – более 1050) разработаны методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод, которые разделяются на две группы.

К первой относятся методы, позволяющие оценить качество воды по совокупности гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических и микробиологических показателей (Табл.2)

Вода с различной степенью загрязнения разделяется на классы. Однако одно и то же состояние воды по разным показателям может быть отнесено к различным классам качества, что является недостатком данных методов.

Вторую группу составляют методы, основанные на использовании обобщенных числовых характеристик качества воды, определяемых по ряду основных показателей и видам ее использования. Такими характеристиками являются индексы качества воды, коэффициенты ее загрязненности.

Таблица 2

Эколого-санитарная классификация качества поверхностных вод					
Наименование показателя	Предельно-чистая	чистая	Удовлетворительной чистоты	Загрязненная	Грязная
Гидрофизические					
Взвешенные вещества, мг/л	Менее 5	5-14	15-30	31-100	Более 100
Прозрачность (по диску Секи), м	Более 3	3,0-0,55	0,50-0,35	0,30-0,15	Менее 0,15
Гидрохимические					
НН ₄ ⁺ мгN/л	Менее 0,05	0,05-0,20	0,21-0,50	0,51-2,5	Более 2,5
NO ₂ ⁻ мгN/л	Менее 0,007	0,007-0,0025	0,026-0,08	0,081-0,15	Более 0,15
NO ₃ ⁻ мгN/л	Менее 0,05	0,05-0,15	0,51-1,5	1,51-2,5	Более 2,5
PO ₄ ⁻³ мгP/л	Менее 0,005	0,005-0,03	0,31-0,10	0,11-0,30	Более 0,30

Для оценки уровня загрязнения поверхностных вод суши используются следующие статистические характеристики и показатели загрязнения [6]:

- максимальное значение концентрации примеси (мг/дм³, мкг/ дм³, доли ПДК);
- среднее значение концентрации примеси (мг/дм³, мкг/ дм³, доли ПДК);
- повторяемость случаев загрязненности по отдельным показателям, %;
- удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), безразмерный (Табл.3).

Таблица 3

Классификация качества воды водных объектов по значению
удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (с учетом КПЗ)

Класс и разряд	Характеристика состояния загрязненности	Значение удельного комбинированного индекса загрязненности воды					
		Без учета числа КПЗ	В зависимости от числа КПЗ				
			КПЗ=1	КПЗ=2	КПЗ=3	КПЗ=4	КПЗ=5
1 класс	Условно чистая	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2 класс	Слабо загрязненная	1;2	0,9;1,8	0,8;1,6	0,7;1,4	0,6;1,2	0,5;1,0
3 класс	Загрязненная	2;4	1,8;3,6	1,6;3,2	1,4;2,8	1,2;2,4	1,0;2,0
РазрядА	Загрязненная	2;3	1,8;2,7	1,6;2,4	1,4;2,1	1,2;1,8	1,0;1,5
РазрядБ	Очень загрязненная	3;4	2,7;3,6	2,4;3,2	2,1;2,8	1,8;2,4	1,5;2,0
4 класс	грязная	4;11	3,6;9,9	3,2;8,8	2,8;7,7	2,4;6,6	2,0;5,5
РазрядА	Грязная	4;6	3,6;5,4	3,2;4,8	2,8;4,2	2,4;3,6	2,0;3,0
РазрядБ	Грязная	6;8	5,4;7,2	4,8;6,4	4,2;5,6	3,6;4,8	3,0;4,0
РазрядВ	Очень Грязная	8;10	7,2;9,0	6,4;8,0	5,6;7,0	4,8;6,0	4,0;5,0
РазрядБ	Очень Грязная	11	9,0;9,9	8,0;8,8	7,0;7,7	6,0;6,6	5,0;5,5
5 класс	Экстремально грязная	11;∞	9,9; ∞	8,8;∞	7,7;∞	6,6;∞	5,5∞

Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды вносят критические показатели загрязнения (КПЗ), на которые необходимо обратить внимание при планировании и осуществлении водоохранных мероприятий.

Для получения сопоставимых данных общее количество веществ, выбранных для комплексной оценки воды, составляет не менее 16 ингредиентов и показателей качества воды:

- обязательных для рек при расчете комплексных оценок (12-15 показателей)- растворенный кислород, медь, марганец, железо, цинк, нитраты, ионы аммония, никель, хлориды, сульфаты, фенолы;
- специфических загрязняющих веществ, характерных для определенных водных объектов или отдельных створов.

Например, для Кемеровской обл. к специфическим загрязняющим веществам относятся: фосфаты, шестивалентный хром, железо, марганец, фториды, формальдегид, фенол, свинец и др. (табл. 4).

Если количество общих и специфических показателей качества воды превышает 16, из перечня исключают вещества, значения которых не превышает ПДК (например, сульфаты, хлориды).

Помимо вышеуказанных важное место среди критериев экологической оценки состояния водных объектов районов размещения металлургических предприятий занимают индикационные критерии оценки. В последние годы биоиндикация (наряду с традиционными химическими и физико-химическими методами) получила достаточно широкое распространение при оценке качества поверхностных вод. Лимитирующим фактором использования метода биотестирования является длительность анализа (не менее 4 суток) и отсутствие информации о химическом составе воды.

Пример использования биотестов для определения качества воды приведен в таблице 5 (данные Ю.Я. Кислякова) [6].

Численные значения, приведенные в таблице, означают:

- для дафний % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде;
- для хлореллы % уменьшения числа клеток в тестируемой воде по сравнению с контрольной;
- для гуппи % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде.

Таблица 3

Гидрохимические показатели воды реки Томь 2006 г.

Показатели	Подленный период		Паводок		Летняя межень		Осенняя межень		ПДК
	Ниже	Выше	Ниже	Выше	Ниже	Выше	Ниже	Выше	
pH	7,06	7,18	7,28	7,38	8,11	7,99	8,12	7,93	6,5-8,5
БПК ₂₀	5,69	5,20	6,85	8,18	3,94	5,46	4,70	3,01	3
окисляемость	3,67	2,60	5,65	5,25	4,11	4,83	5,52	5,12	не более 7
ХПК	12,35	10,31	13,75	15,85	10,67	11,67	5,51	5,95	15
щелочность	2,70	2,34	1,38	1,01	1,81	1,61	1,85	1,95	не норм
Сух. Остаток	171,84	164,31	176,51	120,00	173,17	232,67	215,02	213,75	1000
жесткость	2,53	2,42	1,08	0,85	2,07	2,82	1,11	1,25	7
железо	0,21	0,22	0,93	0,31	0,07	0,05	0,77	0,09	0,1
хлориды	13,03	10,91	3,85	4,41	4,47	3,69	5,48	6,64	300
сульфаты	17,91	8,15	20,85	17,85	9,61	9,75	12,75	9,12	100
аммиак	1,30	1,05	0,76	0,56	0,06	0,05	0,25	0,11	1,5
нитриты	0,036	0,016	0,085	0,075	0,04	0,02	0,07	0,05	0,08
нитраты	4,57	4,56	1,48	1,11	2,84	1,72	0,82	0,66	40
фториды	0,16	0,16	0,09	0,08	0,065	0,055	0,055	0,041	0,75
нефтепродукты	0,61	0,31	0,41	0,17	0,53	0,38	0,27	0,22	0,05
фенол	0,0014	0,0014	н/о	н/о	0,002	0,001	н/о	н/о	0,001
медь	0,001	0,002	0,004	0,005	н/о	0,001	0,001	н/о	1
свинец	0,005	0,004	0,02	0,001	н/о	н/о	0,008	0,002	0,01
цинк	0,005	0,002	0,003	0,002	0,007	0,006	0,002	0,006	1
хром(VI)	0,007	0,004	0,01	0,018	н/о	н/о	н/о	н/о	0,05
магнец	0,04	0,02	н/о	н/о	0,07	0,09	н/о	н/о	0,1
СПАВ	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,021	0,12	0,5
формальдегид	0,033	0,04	0,053	0,064	н/о	0,05	0,08	0,04	0,05
молибден	0,01	0,02	н/о	н/о	н/о	н/о	0,005	н/о	0,07
капролактам	1,24	0,71	н/о	н/о	1,34	1,245	0,895	0,895	1
летучие амины	0,02	0,017	0,03	0,035	н/о	н/о	н/о	н/о	0,1
кадмий	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0,001
фосфаты	0,3075	0,6325	0,26	0,07	н/о	0,06	0,18	н/о	0,05

Оценочные показатели (тест-объекты)	Классы состояния поверхностных вод			
	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
Ракообразные (дафнии)	Менее 10	20	40	Более 60
Водоросли (хлорелла)	Менее 10	20	40	Более 60
Рыбы (гуппи)				

Примечание. Н – нормальная степень загрязнения; Р – малая степень превышения нормы загрязнения; К – средняя степень превышения нормы загрязнения; Б – катастрофически высокая степень загрязнения.

Для оценки существующего состояния гидросферы района размещения металлургических предприятий должны быть определены гидрологические и гидрохимические характеристики рек и водоемов, используемых для водоснабжения (водоотведения), гидрогеологические параметры подземных вод района и режим водопользования территории.

При отборе воды из поверхностных водных источников или сбросе в них сточных вод необходимо:

- привести наименование источника водоснабжения и приемника сточных вод;
- указать категорию водопользования (хозяйственно-питьевая, техническое водоснабжение, культурно-бытовая);
- дать характеристику водного объекта по совокупности его количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования.

Характеристика проводится для водных объектов, используемых:

- для хозяйственно-питьевого водоснабжения по ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» и ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества»;
- для культурно-бытовых целей по ГОСТ 17.1.5.02-80 «Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов»;
- для рыбохозяйственных целей по ГОСТ 17.1.2.04-77 «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов».
- Гидрологические характеристики поверхностных водных источников должны отражать:
- расходы расчетной обеспеченности рек, используемых для водоснабжения и водоотведения;
- тип регулирования, полный и полезный объем, отметку НПУ и УМО для водохранилищ, прудов и озер;
- среднесезонный расход в створах плотин для водохранилищ и прудов;
- условия ледосостава водных объектов (время ледостава и освобождения от льда, мощность льда к концу зимнего периода).

Литература.

1. Максименко Ю.Л., Горкина И.Д. Оценка воздействия на окружающую среду: пособие для практиков. М.,1996
2. Wallanse R.R. Environmental Impact research: a time for choices// Alternatives. 1989
3. Thilssen H.W. Environmental Impact Assessment Methodologies in Canada. Oxford e.a., 1981
4. Материалы сайта Европейского агентства по охране окружающей среды (European Environment Agency)// <http://www.eea.europa.eu>.
5. Кулешова И. Оценка воздействия на окружающую среду в Великобритании : итоги первого десятилетия//Правовые вопросы охраны окружающей среды:экспресс-конференция.1994.№10.
6. Кисляков Ю.Я. Комплексная система экологического мониторинга водных объектов//Инженер, экология.1996.№4. С.42-53.
7. Медведев А.Н., Дерягина С.Е., Астафьева О.В., Александрович И.П.Оценка воздействия на окружающую среду предприятий горно-металлургического комплекса.- Екатеринбург :Изд.дом «Автограф», 2011.-160 с.
8. Торосян В. Ф. , Торосян Е. С. Влияние шлаковых отвалов металлургического производства на объекты гидросферы [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. - 2014 - №. 3(55). - С. 1. - Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2014-3/15-03-14.ttb.pdf>

КОНЦЕПЦИЯ СТРАТЕГИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНКУРЕНЦИИ В ЭКОНОМИКЕ ЗНАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

О.В. Медведева, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: AlisaSten@mail.ru

Введение

Современные отношения между работником и работодателем требуют основательной модернизации. Наиболее проблемной областью является машиностроение, где мы видим симбиоз современной модели развития отрасли и ее традиционной формы. Рабочая сила машиностроительного производства не отвечает на основные сигналы современного рынка труда. Для правильного и своевременного развития конкуренции рабочей силы в машиностроении, необходимо полное переопределение современного рынка конкуренции человеческого капитала в данной области. В целях развития конкуренции рабочей силы для машиностроительной области, можно применить стратегию социально-экономической модели конкуренции в условиях экономики знаний.

Основная часть

Стратегия социально-экономической модели конкуренции в условиях экономики знаний должна включать разные направления развития экономики государства, должна помочь стабилизировать положение страны на мировом рынке, а для этого необходимо произвести ряд серьезных изменений (рисунок 1).

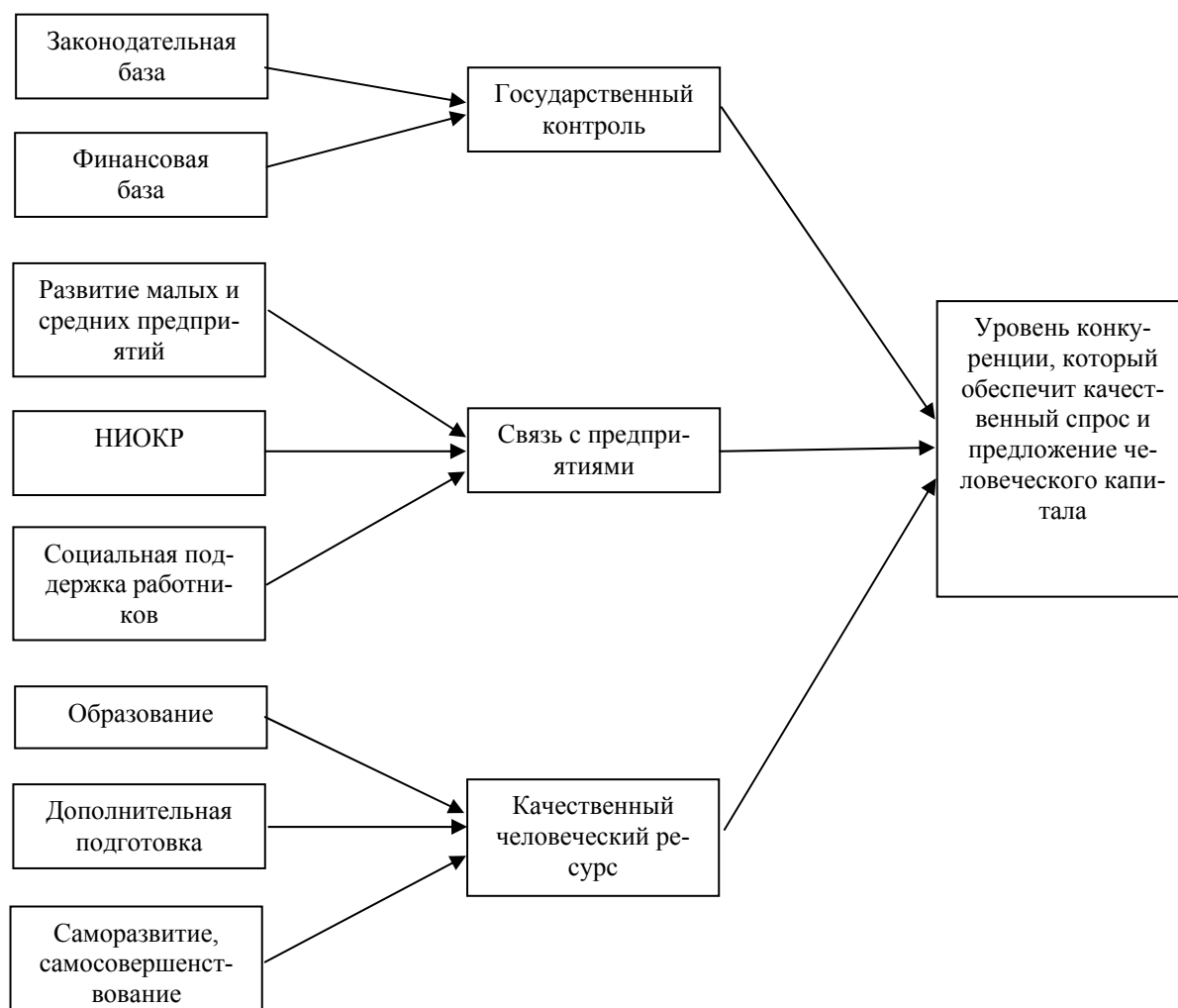


Рис. 1. Формирование уровня конкуренции в условиях экономики знаний

Общие показатели современного уровня конкуренции
в условиях экономики знаний в стране

Основные показатели	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Расходы на социальную политику, млрд. руб.	-	-	3128,5	3859,8	38339,1	1927,1
Малые и средние предприятия, ед.	69274	66574	63803	60260	58245	58959
Расходы на НИОКР, млрд. руб.	485,09	523,29	608,22	696,85	674,23	447,06
Расходы на образование, млрд. руб.	387,9	386,4	552,4	603,5	558,9	499,5
Расходы на социальную поддержку работников, млн. руб.	930,9	3370,6	3059,6	7824,0	8440,0	9092,0

Поданным таблицы 1 можно сказать, что государство наращивает расходы на социальную политику страны, а, следовательно, необходимо контролировать наращивание доходной части данного направления, а также искать пути её увеличения.

Необходимо следить за уровнем количества малых и средних предприятий в стране, так как именно они создают конкуренцию на внутреннем рынке страны за счет соперничества со схожими организациями. Но на основании данных Федеральной службы государственной статистики, можно сказать, что наблюдается тенденция к снижению количества предприятий, работающих в секторе малого и среднего бизнеса. Следовательно, необходимо развитие данного направления, но только с параллельным развитием машиностроительной отрасли, так как машиностроение будет занимать серьезное положение не только в малом и среднем бизнесе, но оно также формирует и крупный бизнес.

Аналогично снижению количества предприятий в стране, можно увидеть и снижение числа работников на предприятиях.

Важное внимание работники и работодатели должны уделять научным разработкам. В машиностроении это особо актуально, так как научно-техническая база позволит не только получать квалифицированные кадры, но и разработки для развития предприятий машиностроения в целом. Кроме того, научные разработки поспособствуют продвижению экономики страны на мировой арене. Также важно заметить, что для России научные исследования приобретают особую ценность, так как будучи сырьевой страной, необходимо понимать, что разработки и исследования позволят стране занимать достойное место в мире даже в условиях истощения природных ресурсов.

В настоящее время, после роста доли расходов на НИОКР, имеется динамика постепенного снижения. Данное снижение носит негативный характер, так как происходит уменьшение расходной части страны на научные исследования.

При рассмотрении показателя образованности населения, можно сказать, что также наблюдается отрицательная тенденция в последние годы.

Во-первых, происходит уменьшение количества выпускников, получивших высшее техническое образование: 2010 год – 1177,8 тыс. чел., 2011 год – 1157,3 тыс. чел., 2012 год – 1125,3 тыс. чел. [163]

Во-вторых, в последние годы наблюдается снижение расходов на образование.

Еще один весомый показатель развития конкуренции экономики знаний – это социальная поддержка работников, в том числе машиностроительной отрасли.

Именно социальная поддержка будет определяющей для квалифицированного работника любой отрасли и направления работы, так как человек, кроме денежного вознаграждения за свой труд (в

виде оплаты труда), так же желает получить и дополнительное вознаграждение в виде социальных гарантий для себя и своих близких.

Государство ежегодно производит выделение денежных средств на затраты для социальной поддержки граждан. При этом в последние годы наблюдается тенденция к увеличению расходов на социальную поддержку работников в стране.

В целом динамику современного уровня конкуренции в условиях экономики знаний можно увидеть на рисунке 2.



Рис. 2. Динамика основных показателей современного уровня конкуренции в условиях экономики знаний в период с 2009 по 2014 годы

Все вышеизложенные статистические данные формируют уровень конкуренции человеческого капитала в стране в настоящее время, но все же необходимо создание социально-экономической модели конкуренции в условиях экономики знаний. На данном этапе развития государства модель есть, она постоянно трансформируется, но рынок конкуренции человеческого капитала не отвечает.

Возникает необходимость создания оптимальной модели социально-экономического регулирования конкуренции в условиях экономики знаний. Необходимо произвести ряд кардинальных изменений в экономике страны по данному направлению.

Для формирования оптимального уровня государственного контроля необходимо произвести ряд изменений в законодательной и финансовой системах страны.

Изменения в законодательной базе для формирования уровня государственной помощи:

- 1) рассмотрение и формирование государством новых терминов и законов в области создания человеческих ресурсов;
- 2) государственное влияние должно распространиться и на формирование финансовой базы поддержания конкуренции.

При соблюдении данных условий, государство будет обладать определенным уровнем контроля уровня конкуренции, оно будет гарантом становления правильного регулирования уровня спроса и предложения человеческих ресурсов, становящихся основным капиталом страны для развития экономики.

Следующим этапом необходимо рассмотреть связь с предприятиями, то есть оценить силу отношений с квалифицированными кадрами.

На данном этапе нужно рассмотреть возможность создания дополнительной заинтересованности работников в развитии своего предприятия. Государство не должно за счет бюджетных средств создавать данную модель стимулирования рабочих кадров, оно должно мотивировать и показать необходимость использовать данную модель для развития бизнеса в стране.

Основное внимание государства должно быть сосредоточено на развитии износа, предприятия должны чувствовать опору и поддержку государства. Как говорилось выше, государство должно реально оценивать нужность, важность и стоимостную величину поддержки, а не определять единый порог для всех видов бизнеса.

Цель государственной поддержки – создание государственными органами социально-экономических и правовых условий повышения экономической жизнеспособности малого и среднего бизнеса.

Необходимо добавить, что в задачи государственной поддержки необходимо внести задачу поддержки предприятий в подготовке квалифицированных кадров путем проведения тренингов и семинаров, а также получения дополнительного образования и прохождения курсов стажировки в нужной работнику и предприятию отрасли.

Предприятия в любой стране формируют экономику данного государства, и от того, насколько данные предприятия развиты, зависит и развитость страны. Данный факт должен занимать важную роль в становлении конкуренции человеческих ресурсов, так как именно на такого рода предприятиях работает большинство работников.

Для подготовки новых квалифицированных кадров государству необходимо произвести ряд мероприятий по обновлению образовательной системы страны, с возможностью внедрения качественного зарубежного опыта.

Кроме того, государство должно производить стимулирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) на предприятиях. Благодаря развитию НИОКР внутри организации работник начинает предлагать свои условия предприятию для дальнейшей работы. Работник также получает преимущество от тех организаций, которые сами получили преимущество от государства, в данном случае государство оказывает влияние опосредовано. Еще больше возможностей можно получить отделив работника от предприятия. Например, отдельное подразделение (организация новой схемы учета), благодаря чему работник становится более независимым, а, следовательно, более ценным.

При рассмотрении социальной поддержки человеческих ресурсов с точки зрения связи с предприятиями, необходимо сказать следующее:

– произведена полная реконструкция отношения работодателей к поощрению сотрудников организации за их труд, а именно: определено, что персонал – это основной фактор, определяющий успех компании. В современной жизни все большую важность приобретает материальное стимулирование работника, а моральное поощрение превратилось в сопутствующий фактор материального;

– государство должно способствовать развитию человеческого потенциала внутри предприятия.

При рассмотрении человеческих ресурсов в данном контексте, необходимо учитывать только способности человека (как работника) на конкретном предприятии, в конкретной среде.

В завершении модели необходимо рассмотреть качество человеческого капитала, а именно: его составляющие, которые оказывают влияние на формирование конкуренции.

Рассмотрение необходимо начать с образовательной системы страны. В данный момент используется система, представленная на рисунке 3.

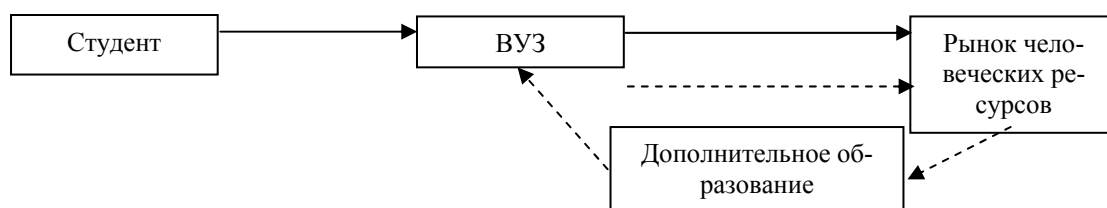


Рис. 3. Распространенная модель получения образования

При рассмотрении данной модели опускают свое внимание на ряд сопутствующих факторов, влияющих на образовательный процесс, хотя они занимают достаточно высокую роль в становлении образовательной системы страны.

Попробуем включить дополнительные данные факторы в модель получения образования в стране (рисунок 4).

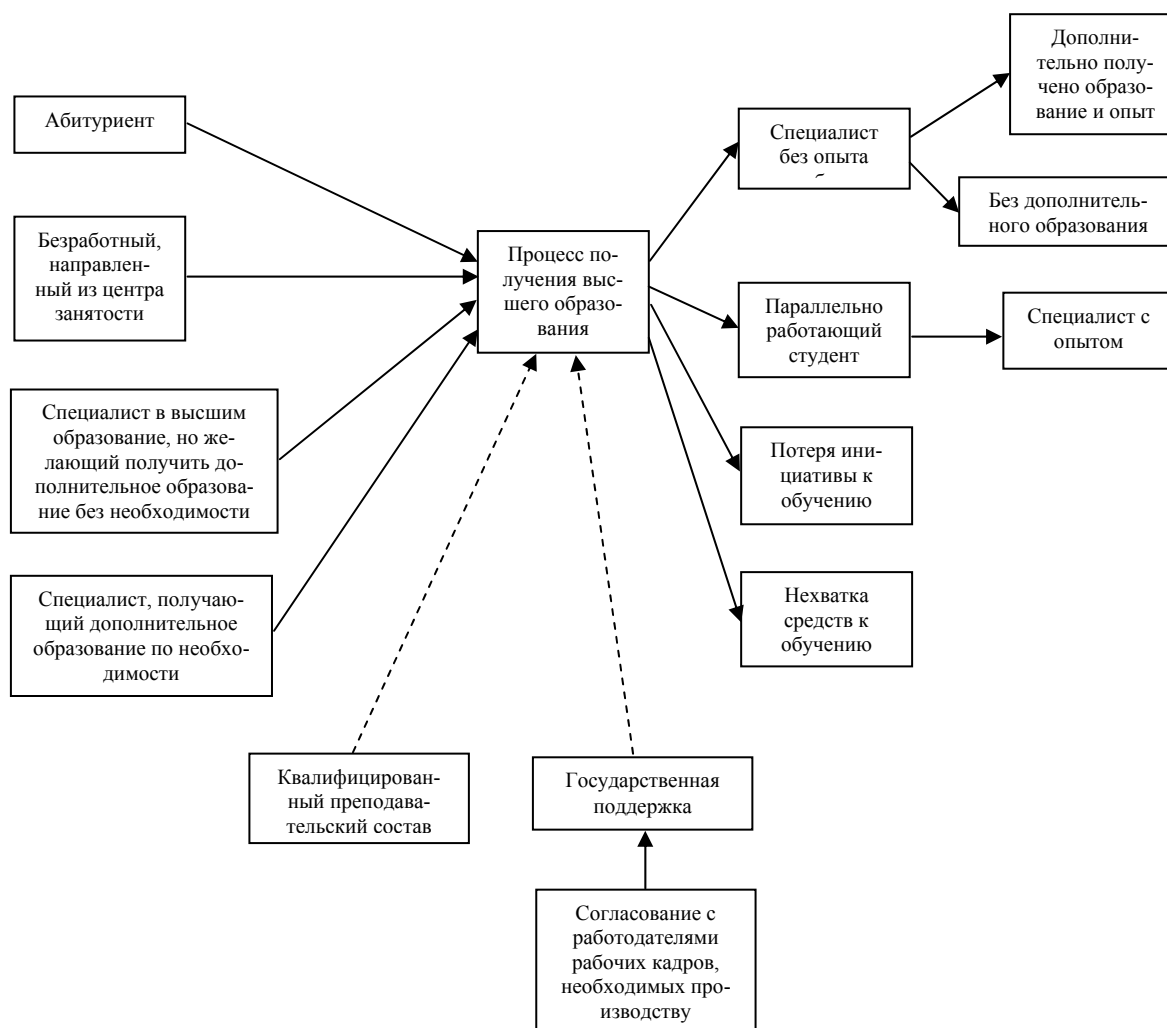


Рис. 4. Детализированная модель получения образования

Во-первых, нужно учитывать кому необходимо получение знаний (образования): студент без опыта или специалист с высшим образованием, получающий дополнительное образование. Так же необходимо учитывать желание потенциального ресурса.

Во-вторых, необходимо уделять внимание преподавательскому составу высшего учебного заведения, а также на виды государственной поддержки студентов. Все это включается в процесс получения образования. Студент может потерять желание получать знания, необходимо стимулировать ресурса.

В-третьих, в конечном итоге получен специалист с набором определенных знаний, умений и навыков, но он может быть как с опытом, так и без опыта работы.

Важной деталью данной модели получения образования является государственная поддержка, конечно, она должна быть направлена на обеспечение доступности высшего образования для всех желающих. Но необходимо уделить внимание тому, что государство должно работать с предприятиями для получения необходимых и своевременных данных о запросах специалистов, необходимых для развития предприятий.

Также следует отметить, что специалист с высшим образованием без опыта работы востребован меньше, чем специалист с таким же образованием и опытом работы, но исключения составляет возраст рабочего кадра. Чем старше специалист, тем тяжелее сохранить качественное рабочее место, так как предприятие приобретёт новый человеческий ресурс, который будет осваивать специфику работы в короткие сроки, и будет способствовать развитию предприятия в целом за счет предоставления руководству компании нововведений.

Следующей качественной составляющей человеческого капитала является дополнительная подготовка специалиста.

Государство и предприятия должны способствовать получению дополнительной подготовки квалифицированного кадра. Необходимо понимать, что высокий уровень знаний и опыта у работника начнет формировать экономику знаний нашей страны на высоком уровне.

Вследствие обеспечения должного уровня дополнительной подготовки и набора опыта, появятся образованные люди, которые могут самостоятельно развиваться на последующих. Именно в данный момент произойдет выход конкуренции экономики знаний за пределы предприятия.

Государство должно способствовать формированию научно-исследовательских институтов, в которых можно производить исследования, развивать новые технологии и т.д., что дает пользу развития промышленности, а также повышению уровня образованности специалистов в определенной области.

Кроме того, образование должно расширить выбор работника и позволить свободно конкурировать на рынке труда, то есть происходит повышение ценности кадра. Возможен процесс интеграции работника в более благополучные регионы страны.

Но наиболее весомым фактором будет самосовершенствование и саморазвитие работника. Благодаря желанию получать более новые и продуктивные знания, работник сможет обеспечить достаточный уровень квалификации в своей области (саморазвитие, повышение своей конкурентной ценности с целью минимизации риска потери работы, либо для продвижения в карьере).

Самосовершенствование и саморазвитие – это один из наиболее сложных факторов формирования качественного человеческого капитала, так как сам работник (специалист) должен понимать и желать заниматься саморазвитием знаний в своей области исследования. Предприятия должны стимулировать и поддерживать данное желание, дать возможность к развитию человеческого ресурса. В свою очередь, государство должно создать условия, возможности развития человеческого ресурса, то есть создавать возможности для получения самообразования, для проведения разработок и т.п.

В заключении следует сказать, что дополнительную помощь от предприятия и государства можно получить, если произойдет сотрудничество по отслеживанию рынка рабочей силы не локально, а глобально (на уровне страны). Социальный и экономический институты должны отслеживать зарубежный рынок для расширения знаний специалиста.

Государство должно способствовать развитию ресурсных регионов, а налоги должны платиться по месторасположению предприятия. Необходимо регионы развивать не только с точки зрения экономики, но и социальной составляющей, создавая благоприятные условия для жизни людей.

Именно такая государственная поддержка будет способствовать развитию конкуренции экономики знаний в Российской Федерации. Применяя стратегию социально-экономической модели конкуренции в условиях экономики будет сформирован новый уровень конкуренции человеческого капитала, который будет лучше и оперативно отвечать сигналам рынка человеческих ресурсов.

Вывод

Внедрение стратегии социально-экономической модели конкуренции в машиностроении может произойти наиболее просто. Эластичность отрасли, ее финансовая насыщенность и четкий инновационный вектор прекрасно располагают к адаптации данной стратегии. Существенным препятствием могут стать бюрократические барьеры, серьезно закрепившиеся традиционные модели развития и архаичные стратегии, а также отсутствие должного внимания к данному сектору экономики.

Литература.

1. Объем и структура денежных доходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_13/IssWWW.exe/Stg/d1/06-06.htm
2. Шведова М.Ф. Структура государственной поддержки малого бизнеса: теоретический аспект системного подхода: Фундаментальные исследования. 2012. № 9-1. С. 135-139
3. Барбарская М.Н., Рыбалкина З.М. Формирование системы управления человеческим потенциалом в организации // Человеческие ресурсы: проблемы инновационного развития и использования: сборник научных трудов / отв. Редактор И.П. Поварич. – Выпуск 2; Кемеровский госуниверситет. – Кемерово, 2013. – С. 25-31
4. Различные статистические данные по бюджету России за 2013 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://inance.ru/2014/02/budzet2013/>
5. Структура и динамика расходов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://info.minfin.ru/fbrash.php>

6. Институциональные преобразования в экономике. Количество крупных и средних предприятий и организаций [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi>
7. Институциональные преобразования в экономике [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/reform/#
8. Выпуск специалистов с высшим профессиональным образованием государственными и муниципальными образовательными учреждениями по группам специальностей и направлениям подготовки в 2005 – 2012 гг. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_13/IssWWW.exe/Stg/d1/07-50.htm
9. Образование в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8

УСПЕШНЫЙ ОПЫТ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В МОНОГОРОДЕ ЮРГА

В.А. Шабашев, д.к.н., В.А. Трифонов, к.э.н., доц., И.В. Добрычева, ассист.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел/факс: 8(384-51) 6-26-83

E-mail: bash_kemsu@mail.ru, v.trifonov@rambler.ru, dobrycheva@tpu.ru

Машиностроительные предприятия России находятся в кризисном состоянии, о чем свидетельствуют исследования РИА-агентства. Глубокая рецессия наблюдается в производстве металлургического оборудования, станков, сельскохозяйственной техники, предназначенной для потребительского рынка [1].

Невостребованность продукции российского машиностроения на мировом рынке, снижение динамики потребительского кредитования для покупки на внутреннем рынке, низкая конкурентоспособность, недостаточно высокий уровень автоматизации производства и низкие темпы обновления оборудования, отсутствие системы рациональной организации труда, – все это привело к кризису машиностроительной отрасли.

Вторая проблема обусловлена тем, что в период существования СССР имела место тенденция постройки моногородов по всей стране, зачастую сконцентрированных вокруг машиностроительных предприятий. Это спровоцировало глубокую взаимосвязь сразу нескольких следствий: машиностроительное предприятие перестает эффективно работать, что влечет за собой снижение заработной платы и уровня жизни населения моногорода. Впоследствии наблюдается рост безработицы, вызывающий развитие социальных девиаций.

По официальным данным, в настоящее время в России 313 муниципальных образований, являющихся моногородами, в которых живет почти 15% населения страны [2,3]. Моногорода неравномерно распределены по территории России. Наибольшее количество моногородов сосредоточены в Уральском (Свердловская и Челябинская области) и Приволжском (Самарская, Нижегородская области, Пермский край) округах [4].

Идея создания моногородов не может быть оценена однозначно отрицательно: по данному принципу они строились и продолжают строиться города во всем мире. Упадок в отрасли машиностроения был вполне предсказуем, с подобными проблемами сталкивались и Европейские страны и США [5,6]. Однако современные моногорода, формирующиеся возле источников нефти и газа, тоже когда-нибудь превратятся в список проблемных городов.

Ситуация усугубляется также тем, что мировые интеграционные процессы неизбежно снижают конкурентоспособность различных отраслей, например, вступление России в ВТО повлекло сокращение машиностроения, легкой и целлюлозно-бумажной промышленности в Тюменской области, Сибири, на Урале [7, 8].

В международной практике управления моногородами сложилось несколько подходов. США реализуют программу «Сокращение ради выживания», предполагающую снос беднейших городов и «возвращение природе» территории [9]. Европейские страны избрали путь реструктуризации, примером чего может служить подход, избранный к городу Руру в Германии и Хелмонду в Нидерландах [10].

В России существует федеральная программа по поддержке моногородов, предполагающая целенаправленное изменение экономической структуры городов, их диверсификацию [11]. Проблемой

является, зачастую, отсутствие идей развития моногорода. По мнению экспертов, программы диверсификации экономики моногородов России, где складывается сложная социально-экономическая ситуация, могут быть реализованы только в половине из них, для остальных нужны иные меры поддержки. Сегодня около 20% моногородов из кризисного списка находятся в ситуации, когда градообразующее предприятие не имеет перспектив развития и может быть заморожено или закрыто [12].

Тем не менее, выработаны некоторые общие пути решения проблем моногородов: модернизация традиционных производств, диверсификация экономики, развитие малого и среднего бизнеса, улучшение имиджа города и повышения качества жизни [13]. Моногорода машиностроительной отрасли – не исключение: они также нуждаются в модернизации и диверсификации.

Представляется необходимым выработать модель реструктуризации предприятий, применение которой в дальнейшем позволит системно решать ряд проблем, связанных с модернизацией традиционных производств и общей диверсификацией экономики моногородов.

Выделяют функциональную и системную реструктуризацию [14]. Системная реструктуризация как форма изменения направленности машиностроительного предприятия успешно была применена в таких городах как Пулман (США), Хаддерсвилд (Великобритания). Зачастую переход предприятия на выпуск новой продукции или развития комплекса услуг требует поэтапной реструктуризации, функциональной реструктуризации подразделений и финансовой реструктуризации.

Каждое машиностроительное предприятие, проходящее реструктуризацию, учитывает тот спектр проблем, который сформирован с учетом специфики его деятельности, но, в целом, предприятия одной отрасли, как своеобразные микромоделли национальной экономики, имеют сходный перечень проблем. Таким образом, необходимо ориентироваться на уже имеющие опыт успешной реструктуризации модели в реальных условиях российской экономики.

Примером может служить успешная реструктуризация ООО «Юргинский машзавод», проведенная в 2007 году в одном из моногородов России [15].

К 2007 году машиностроительное предприятие стало убыточным, и моногород нуждался в максимальной поддержке со стороны государства, частных инвесторов. Решение о разработке новой модели реструктуризации машиностроительного предприятия явилось необходимостью.

Базовая же модель реструктуризации включает такие этапы, как:

- анализ деятельности предприятия и внешней среды;
- разработка концепции и программы реструктуризации;
- внедрение программы реструктуризации и оценка ее результатов.

В рамках реструктуризации машиностроительного предприятия авторами была предложена новая модель эффективного управления активами машиностроительного предприятия, так называемая модель «финансовой реструктуризации».

Модель финансовой реструктуризации нацелена на достижения положительных финансовых результатов в рамках долгосрочной стратегии.

Условия предлагаемой модели:

- направление деятельности машиностроительного предприятия не изменяется;
- клиентская база может измениться по своей структуре;
- предприятие не может поменять налоговый режим, так как налоговые поступления являются бюджетообразующими;
- большая доля объектов социально-культурного, бытового назначения и жилого фонда снята с баланса предприятия.

Предлагается пять элементов системы управления финансовой реструктуризацией машиностроительного предприятия.

1. Эффективное управление оборотным капиталом и краткосрочными обязательствами. Для выполнения предлагается осуществлять контроль показателей оборачиваемости материальных запасов, контролировать цены на сырье и материалы и анализировать методы реализации готовой продукции.

2. Управление внеоборотным капиталом, что подразумевает возможность сокращения постоянных затрат предприятия путем сдачи оборудования в аренду и консервации неэффективных основных фондов.

3. Управление дебиторской задолженностью, включающей в себя контроль дебиторской и кредиторской задолженности и ведение реестра старения дебиторской задолженности. Также возможна организация продажи задолженности через долговые центры.

4. Управление себестоимостью продукции, которое может быть эффективным лишь при условии автоматизации системы учета и снижении норм расхода используемых ресурсов.

5. Проведение реструктуризации задолженности перед бюджетом и крупнейшими кредиторами.

В 2007 году перед руководством ОАО «Юргинский машзавод» стояла цель: с помощью реструктуризации решить следующие задачи:

- достигнуть точки безубыточности при существующем способе производства;
- избежать процедуры банкротства и доказать кредиторам преимущество реструктуризации над ликвидацией.

В результате было принято решение об увеличении выпуска горно-шахтного оборудования и разработке комплекса сбытовых мероприятий. Реструктуризация также подразумевала совершенствование характеристик продукции и систем контроля качества. Перепланировка производственных мощностей привела к сокращению переменных затрат и более эффективному использованию оборотных средств.

В рамках предлагаемой модели вводится мораторий на прием на работу нового персонала. Реструктуризация предполагает эффективное перераспределение человеческих ресурсов предприятия, так как перераспределение рабочей силы может привести к повышению эффективности [16].

Реструктуризация машиностроительного предприятия повлекла за собой ряд реорганизационных мероприятий, и может считаться эффективной за период с 2007 – 2013 гг.

Продажа избыточного производственного оборудования, запасов продукции и сокращение дебиторской задолженности позволили получить денежные средства достаточно быстро.

Поток денежных средств увеличился также в результате реструктуризации задолженности. Отказ от избыточных площадей и сокращение затрат привели к концентрации производственных цехов.

Результаты реструктуризации отражены в следующих показателях (таблица 1.)

Таблица 1

Результаты реструктуризации ООО «Юргинский машзавод»

Показатель	2007 г., тыс. руб.	2013 г., тыс. руб.
Активы предприятия	2136708	3256216
Внеоборотные активы	1574642	1241891
Доля внеоборотных активов от общей суммы активов предприятия, %	73,69	38,1
Оборотные активы	562066	2014325
Доля оборотных активов от общей суммы активов предприятия, %	26,31	61,86
Выручка	559324	3 341 030
Себестоимость продукции	424365	2 606 477
Доля себестоимости в выручке, %	75,87	78,01
Прибыль от продаж	-34268	247910
Чистая прибыль	-36764	73481

Таким образом, реструктуризация предприятия привела к уменьшению доли внеоборотных активов в общей сумме активов предприятия и увеличению оборотных активов. Положительной тенденцией и показателем эффективности реструктуризации машиностроительного предприятия можно считать получение прибыли.

В результате реструктуризации произошел рост стоимости предприятия [17]. Реструктуризация машиностроительного предприятия предполагает также возникновение операционной и финансовой синергии, которая проявляется в следующих формах: увеличение рыночной ниши, увеличение объемов продаж, снижение вероятности банкротства в результате диверсификации бизнеса [18].

По результатам проведенного исследования разработана финансовая модель реструктуризации машиностроительного предприятия России, которая отвечает современным потребностям времени, учитывает изменяющиеся факторы внешней среды: нестабильную экономическую ситуацию, вступление в ВТО, кризисные тенденции.

Реструктуризация конкретного машиностроительного предприятия привела к уменьшению доли внеоборотных активов в общей сумме активов (с 73,69% до 38,1 %) и увеличению оборотных активов (с 26,31% до 61,86 %). Положительной тенденцией и показателем эффективности реструктуризации машиностроительного предприятия можно считать получение прибыли, роста его стоимости, возникновение операционной и финансовой синергии.

Полученный эффект синергии позволяет сделать вывод о том, что реструктуризация машиностроительного предприятия возможна при правильном ее проведении, основанной на предлагаемой модели эффективного распоряжения активами предприятия.

Литература.

1. Аналитический бюллетень. Машиностроение: тенденции и прогнозы. РИА РЕЙТИНГ. Выпуск №14 Итоги января – июня 2014. – М., 2014 г. С. 7-8
2. Критическая ситуация в российских моногородах как следствие неспособности власти принимать адекватные управленческие решения [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://www.lawinrussia.ru/node/301205> (дата обращения 20.10.2014)
3. Моногорода превратятся в центры опережающего роста [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: http://www.vedomosti.ru/politics/news/1147935/monogoroda_prevratyatsya_v_centry_operezhayuscheg_o_gosta (дата обращения 20.10.2014)
4. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://bujet.ru/article/76519.php> (дата обращения 20.10.2014)
5. John S. Garner The Company Town: Architecture and Society in the Early Industrial Age, 1992. 245p.
6. Hardy Green, The company town: the industrial Edens and satanic mills that shaped the American economy, 2011. 498 p.
7. Вступление России в ВТО вызовет очередной кризис в моногородах // [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: http://www.vedomosti.ru/politics/news/1695561/novaya_ugroza_monogorodam (дата обращения 20.10.2014)
8. Трифонов В.А., Шабашев В.А. Как членство России в ВТО изменит экономику // European Social Science Journal, 2013. - №3.
9. Моногорода по всему миру стоят на грани краха Добавлено: 08.07.2009 [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://rhr.ru/index/salary/trend/13895,0.html> (дата обращения 20.10.2014)
10. Манаева И.В. Реструктуризация экономики моногорода: зарубежный опыт // Новый университет. Серия «Экономика и право» № 5 (5), 2011. С.36-38
11. «На Западе даже нет такой проблемы» [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://vz.ru/economy/2011/12/8/545176.html> (дата обращения 20.10.2014)
12. Критическая ситуация в российских моногородах как следствие неспособности власти принимать адекватные управленческие решения [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://www.lawinrussia.ru/node/301205> (дата обращения 20.10.2014)
13. Моногорода: необходим индивидуальный подход и инновационное решение [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://kapital-rus.ru/articles/article/176782> (дата обращения 20.10.2014)
14. Реструктуризация предприятий и компаний [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://www.raexpert.ru/researches/restructuring/part1> (дата обращения 20.10.2014)
15. Трифонов В.А. Факторы и принципы формирования промышленно-инновационных кластеров. // Вестник Кемеровского государственного университета №1, 2013 г.
16. Lehn K., Poulsen A.B. Source of Value in Leveraged Buyouts // Weidenbaum M. Public Policy Toward Corporate Takeovers. New Brunswick, N. J.: Transactions Publishers, 1988.
17. Fundamentals of Financial Management James C. Van Home Stanford University John M. Wachowicz, Jr. 1031 с.
18. Artur D Little Driving Banks' Value Through M&A // Financial Services INSIGHT. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: http://www.adl.com/bankm_a (дата обращения 20.10.2014)

ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ БРИКЕТИРОВАНИЯ*С.Н. Федосеев, асс., А.В. Дмитриева, ст. гр. 10А22**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского**Томского политехнического университета**652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26**E-mail: fedoseevsn@list.ru*

На территории Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд. т. отходов, при этом вторично используется только 28 % из них. Большая часть металлургических отходов не находит применения и отправляется в отвалы и хвостохранилища. Между тем значительная часть железосодержащих отходов по содержанию железа сравнима с рудными концентратами и является ценным сырьем для металлургической промышленности. Окалина прокатного и кузнечного производств может содержать до 55–60 % Fe.

Однако низкая газопроницаемость данного сырья не позволяет эффективно использовать его в качестве продукта, готового к вторичному использованию, поэтому для предварительной обработки таких отходов используют в основном традиционные способы – окомкование и агломерацию. Помимо традиционных, перспективным способом переработки железосодержащих отходов является брикетирование. Данный способ наиболее универсален и позволяет использовать в качестве сырья различные типы отходов, такие как кузнечная и прокатная окалина, металлическая стружка, пыль установок газоочистки и пр.

Разработан новый брикетированный шихтовой материал – оксидоугольный брикет (ОУБ), получаемый из отходов металлургического производства: прокатной и термической окалины, пыли системы газоочистки и т. п. Процесс брикетирования позволяет контролировать технологические свойства конечного продукта при изготовлении.

Практика показывает, что в металлургии брикетирование мелкодисперсных материалов – наиболее универсальный способ переработки ценных железосодержащих отходов производства, мало пригодных для непосредственного использования в процессе выплавки. Из-за низкой газопроницаемости неокускованное сырье не может служить в качестве готового вторичного продукта.

Известны способы производства брикетов с применением портландцемента как связующего компонента. Ряд металлургических предприятий России и стран СНГ используют такие брикеты, хотя они обладают невысокой восстановимостью. Кроме того, брикетирование с цементной связкой приводит к увеличению количества шлака, обусловленному высоким содержанием CaO и SiO₂.

В зависимости от состава и назначения брикеты подразделяют на следующие виды: брикет оксидоугольный самовосстанавливающийся (БОУС); брикет оксидоугольный офлюсованный (БОУФ); брикет оксидоугольный металлизированный (БОУМ).

ОУБ изготавливают с применением многокомпонентного связующего вещества, которое предотвращает разрушение брикета на начальном этапе плавки и обладает свойствами, благоприятными для максимального восстановления железа из оксидов и науглероживания расплава, схема производства представлена на рис. 1.

Химический состав брикетов получаемых методом холодного брикетирования, представлен в табл. 1

Таблица 1

Характеристики получаемых брикетов

Вид брикета	Химический состав, %							Насыпная масса, кг/м ³
	Fe	C	S	P	Пустая порода			
					Всего	CaO	SiO ₂	
БОУС	54–60	12–46	0,01–0,04	0,03	6–12	3–4	3–7	2 500–3 500
БОУФ	54–60	12–46	0,01–0,04	0,03	15–25	10–15	3–7	2 500–3 500
БОУМ	76–90	1–12	0,01–0,02	0,03	6–12	3–4	3–7	1 900–2 200

Связующим компонентом служат жидкое стекло и смесь оксидов на силикатной основе. Жидкое стекло играет роль первичной связки, придающей брикетам после сушки прочность, достаточную для их хранения, транспортировки и заправки в печь. Вторичная связка – это система на силикатной основе SiO₂–B₂O₃–CaO–K₂O, которая сохраняет прочность брикета при температурах 1300–1450 °С, придавая ему вязкость, и препятствует преждевременному разрушению при плавке. Связующее также способствует максимизации действия углерода при восстановительном и науглероживающем

процессах. Развитая реакционная поверхность компонентов ОУБ обеспечивает высокую скорость восстановления железа из оксидов.

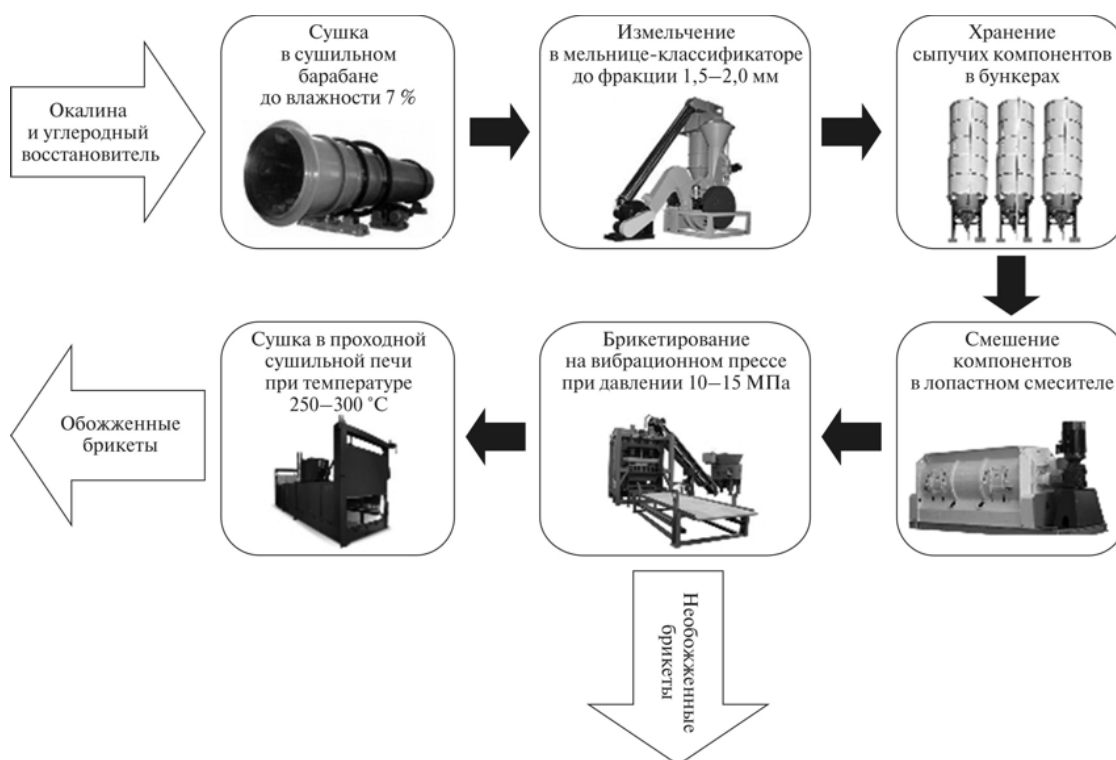


Рис. 1. Технологическая схема производства брикетов

В состав брикетированной шихты входят 70–75 мас. % железосодержащего вещества (окалина, пыль системы газоочистки и пр.) и твердофазный восстановитель в количестве, необходимом для полного восстановления железа и науглероживания расплава. В качестве восстановителя можно применять различные углеродсодержащие материалы, например отходы электродного производства, коксовую мелочь, бой графитовых блоков.

Исходное сырье (оксидсодержащие отходы) и восстановитель подсушивают до влажности ~7 % и размалывают до фракции 1,5–2,0 мм. Для сушки и помола целесообразно использовать барабанные сушилки и шаровые мельницы. Материалы для приготовления смеси (окалину, углерод, связку, шлакообразующие материалы и др.) из промежуточных бункеров подают через дозаторы шнековыми транспортерами в лопастные смесители непрерывного действия. Туда же направляют жидкое стекло.

После перемешивания подготовленную смесь транспортером перемещают на формовку брикетов в прессовом оборудовании при давлении 10–15 МПа. Сырые брикеты транспортером подают в проходную сушильную печь, где сушат отходящими газами обжиговой печи или печей сушки материалов при температуре 250–300 °C в течение 3–4 ч. После сушки ОУБ служат компонентом шихты для выплавки стали и чугуна.

Разработанная технология реализована при производстве ОУБ, применяемых в опытных и промышленных плавках:

- в электродуговых и индукционных печах емкостью от 0,5 до 150 т на ОАО ВМЗ «Красный Октябрь», ОАО «Тракторная компания «ВгТЗ»;
- печах садкой емкостью 280 т на Таганрогском трубном заводе.

Применение брикетов позволяет создать и поддерживать в печи восстановительную атмосферу в течение всего периода плавления, что обеспечивает благоприятные условия протекания восстановительного периода плавки с получением восстановительного шлака с низким содержанием FeO.

Использование окалины различного происхождения увеличивает содержание железа в брикете, а также обуславливает появление в металле полезных примесей: Cu, Ni, Cr, Mn и др.

Шламы газоочисток содержат меньшее количество железа, поэтому их целесообразно утилизировать вместе с окалиной.

В процессе выплавки стали при применении ОУБ наблюдали увеличение содержания диоксида серы и фтороводорода в атмосфере газовой печи. В период плавления их количество составляло в среднем 15–25 %. Также зафиксирован рост выбросов азота (около 83 %). Процессы восстановления в самом брикете ведут к образованию повышенного количества монооксида углерода, который выступает в качестве основного восстановителя оксидов железа в ОУБ. Полное сгорание выделяющегося СО обеспечила установка газокислородных горелок. Их применение положительно влияет на технико-экономические показатели плавки, интенсифицирует процесс и решает проблему утилизации СО.

За счет создания восстановительной атмосферы в печи выбросы тяжелых металлов (Ni, Cr, Fe, Mn, V и др.) в период плавления снижаются. Их исследования проводили при применении ОУБ в печи ДСП-25.

При использовании брикетов выбросы тяжелых металлов в период плавления уменьшились в среднем на 29 %. Выбросы Mn снизились на 9,0 %, Ni – на 24,9 %, Fe – на 28,9 %, V – на 49,7 %, Cr – на 100 %. Выбросы Cu увеличились на 12,7 %.

При серийных плавках и плавках с брикетами выбросы оксидов железа в период плавления (около 15 мин) были одинаковы. Примерно к 30-й минуте объем выбросов достигал максимальной величины, на 35-й минуте он составил 500 мг/с. Отсутствие пиковых объемов выбросов железа в плавках с брикетами обусловлено интенсификацией реакций восстановления в ОУБ, что образует восстановительную атмосферу в газовом пространстве печи.

Результаты опытных плавки с применением ОУБ показали, что общие газовые выбросы в атмосферу снижаются в 2 раза. Кроме того, наблюдалось уменьшение угара и выбросов тяжелых металлов в атмосферу, что также было следствием наличия восстановительной атмосферы в печи и раннего появления жидкого металла и шлака. Последнее положительно сказалось на образовании и горении электрической дуги и обеспечило ее стабилизацию.

Применение ОУБ позволило снизить угар металлошхты на 30 %. По сравнению с обычными плавками общее количество металлошхты уменьшилось в среднем на 5,0 %, а период плавления для электродуговых печей сократился на 15–30 мин. За счет сокращения длительности плавки и увеличения выхода годного металла производительность электродуговой печи увеличилась в среднем до 10 %.

Выводы

1. Технология производства ОУБ может быть реализована на металлургических производствах любого масштаба.

2. Применение предлагаемой технологии производства ОУБ позволяет утилизировать практически любые виды железосодержащих отходов и углеродсодержащих материалов.

3. Использование в составе шхты ОУБ, которые содержат минимальное количество вредных примесей, повышает качество выплавляемого металла.

Литература

1. Оганян Л.А., Федосеев С.Н. Технология получения комплексного металлургического сырья из железо- и углеродсодержащих отходов // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 274-277
2. Федосеев С.Н. Комплексная переработка отходов железа предприятий черной металлургии // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 244-247
3. Технология холодного брикетирования // [Электронный ресурс] – Режим доступа http://briket.ru/newpublications/holodnoe_briketirovanie.html
4. Использование твердых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов // [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://studopedia.ru/1_123172_ispolzovanie-tverdih-othodov-v-kachestve-vtorichnih-energeticheskikh-resurov-ver-i-vtorichnih-materialnih-resurov-BMP.html
5. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. – М.: Металлургия. 1975 – 232 с.
6. Гоник И.Л., Лсмякин В.П., Новитский Н.А. Особенности применения брикетируемых железосодержащих отходов // Металлург. – 2011. – № 6 – С. 36–38.

РОССИЙСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В.Н. Есаулов, к.э.н., доцент кафедры ЭиАСУ

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 89234963960

E-mail: elaresy@mail.ru

В настоящее время повсеместное развитие информационных систем, широкое их внедрение во все сферы жизнедеятельности человека и особенно применение виртуальных технологий дало импульс для возникновения новой тенденции в экономической науке – новой экономике, которая и отображает экономические процессы в информационных технологиях. Постиндустриальная экономика стала условием перехода информации и знаний в сектор производства. Своеобразие формирования новой экономики обусловлено ее направленностью на виртуализацию, что подкрепляется объективными причинами деятельности и поступательного движения общества, опирающимися на глобализацию, интернет-технологии, а также субъективными, учитывающие идеологические системы.

Процесс виртуализации экономической области социума представляет собой соединение реальной сферы экономики с виртуальной действительностью человеческого разума. При этом составные части экономической сферы общества – финансы, товары, предметы, рынки и другие подвержены процедуре виртуализации. Для проявления новой экономики характерны следующие черты:

1. Форсирование развития общественного воспроизводства (наращивание темпов роста расширенного воспроизводства происходит при помощи виртуализации экономической жизнедеятельности и ускорения процессов производства).
2. Увеличение значимости информационно-интеллектуальной составляющей экономической деятельности (самым важным моментом являются знания и информация, что увеличивает предназначение человека как основного заказчика и обладателя; ИТ технологии проявляют определяющее воздействие на совершенствование национальной экономики в целостности ее отраслей и профиля деятельности).
3. Превалирование финансовой составляющей над реальной областью хозяйственной деятельности (выделяясь из промышленного сектора финансовый капитал формируется в специфичный виртуальный ресурс).
4. Оживление развития международной интеграции (осуществляется рост международного производства с учетом новой экономики, что является правомерным итогом деятельности межфирменных сетей в пределах больших транснациональных корпораций)[1].

К основным составляющим новой экономики относят ИТ технологии и венчур, т.е. рискованный технологический или научно-технический бизнес. В наибольшей степени формирование новой экономики получило в Америке. Становление новой экономики – это первейшее требование для стабильного и значительного экономического роста, но не в результате роста классических факторов производства (труд, капитал, земля), а на базе научных открытий и энергичного ввода и применения их в производстве при помощи венчурного бизнеса и активного использования ИТ-технологий.

Эти введенные новшества в производственный процесс и являются в условиях новой экономики, главным фактором экономического роста. Теперь наука все шире предлагает свои научные разработки для нужд хозяйственной жизни страны, выполняя их заказы. Инвестирование изобретений и доведение до производства осуществляется венчурными операциями. Венчур и предназначен для инвестирования перспективных научных достижений и успешное внедрение их в экономику страны. Заслуга венчурного бизнеса США - в прогрессе микроэлектроники, биотехнологии, практическое применение этих достижений аккумулировалось в производстве полупроводников. Новая экономика стала источником создания всемирного информационного общества, средств многосторонних связей при помощи Интернета [2].

В условиях новой экономики, когда глобализация с учетом разнообразных типов всемирной интеграции, рынок становится более открытым, что способствует вхождению в него малого и среднего бизнеса. При этом крупные промышленные объединения передают низкоэффективные производства в сектор малого и среднего бизнеса, тем самым повышая свою рентабельность. Это способствует созданию новых рабочих мест и взаимовыгодному сотрудничеству и среди участников малого и среднего бизнеса. Российские предприятия, в том числе и машиностроительные, также имеют реальные шансы вписаться в обоюдовыгодную всемирную интеграцию, что порождает для них новые перспективы и расширение производственного потенциала.

Новейшие научные внедрения в промышленное производство только тогда дают отдачу в виде экономического роста, когда есть обученный промышленный персонал, обладающий необходимыми умениями, знаниями. В информационном пространстве непрерывно идет обмен информацией, знаниями, навыками, содержание этих данных постоянно изменяется, развивается, усиливает деятельность персонала пользующихся этой информацией. Только высокопрофессиональные кадры в любой сфере деятельности экономики страны являются наиважнейшим требованием для определения уровня экономического развития страны в мировом хозяйстве.

Рост торговли наукоемкими технологиями указывает на причастность национальной экономики к международным инновационным процессам. В существующих условиях в России пока не замечается оживления и развития инноваций. Экспорт технологий в стране уменьшается, в то время как на мировом рынке идет их увеличение. Процент высокотехнологичного продукта в экспорте промышленных изделий в России около 9%, в Сингапуре – более 50%, в Корею, США, Китае – более 30%, в Японии – более 20%. Эти цифры характеризуют степень конкурентоспособности государства в условиях новой экономики [3].

В России около 11% предприятий из общего числа занимаются научными исследованиями и внедрением технологических новшеств в производство, к 2020 году доля таких организаций должна составить 25% [4]. Наиболее инновационно-ориентированные предприятия – это машиностроительные: 41,3% от общей численности [5]. Сегодняя ситуация глобализации мировых рынков заставляет страну изыскивать все новые и новые возможности, находить свободные ниши и конкурировать в международном разделении труда. Россия имеет еще достаточно высокий научный потенциал, чтобы занять в мировом хозяйственном процессе достойное место.

Наша страна имеет определенные успехи в развитии всех классов промышленных систем электронного бизнеса, это хорошая предпосылка для успешной интеграции в мировое хозяйство. Направленные финансовые вложения в IT-технологии также активизируют это вхождение. Но есть существенное препятствие продвижения России в этом направлении – отсутствие совершенного финансового рынка, т. е. фондовому рынку, рынку корпоративных бумаг отводится второстепенное место. А без капитализации новой экономики ускоренное технологическое продвижение невозможно. Для решения этой проблемы реально расширять портфельные инвестиции. Наблюдаемые в настоящее время в основном прямые капиталовложения – это признак недостаточно развитой экономики страны (в России сумма портфельных инвестиций к прямым относятся как 1:40), уверенность проявляется к конкретному партнеру, а не конкретному национальному рынку [5]. В экономически развитых странах поддерживается одинаковое количество портфельных инвестиций и прямых, в развивающихся странах прямые инвестиции значительно превышают портфельные. Вхождение в новую экономику должно быть скоординировано между заинтересованными внутригосударственными структурами и бизнесом, а также соответствовать сложившимся мировым тенденциям в условиях новой экономики. Только при таких условиях новая экономика даст импульс технологическому прорыву.

Ярким примером успешного внедрения в новую экономику является Китай. Не имея ни передовых технологий, ни достаточного опыта, ни требующихся мощностей китайские автомобильные компании решили выйти на мировой рынок и экспортировать свою продукцию в страны Евросоюза, в Америку и другие. Это было очень смелое решение, если не авантюрное, так как на мировом автомобильном рынке были сильные участники, известные марки, налаженная международная кооперация. В Китае стали располагать свои дочерние компании известные производители автомобилей, ввозились лучшие технологии и при дешевой рабочей силе, очень трудолюбивой и способной к обучению создается конкурентоспособная китайская автомобильная промышленность, теперь широко известная на мировом рынке [6].

В мировом автомобильном машиностроении массово применяется покупка комплектующих изделий, процент их в цене от 40% до 65%, это показывает тесное глобальное производственное сотрудничество. С Россией пока крупные промышленные транснациональные корпорации (ТНК) не торопятся сотрудничать (кроме автомобильных), опасаясь неурегулированных международных и российских технических условий. Суммарно прямые иностранные инвестиции в китайскую экономику и российскую соотносятся как 50:1 [7].

Задачами на долгосрочную перспективу (до 2025 г.) для машиностроительной отрасли определены следующие:

1. Для максимального исключения рисков и усиления обороноспособности страны необходимо расширить собственное производство по двойным технологиям.

2. Увеличить количество совместных предприятий в России.
3. Развивать импортозамещение на основе организации новых производств гражданского назначения.
4. Подготовка и переподготовка кадров для машиностроения с учетом требований времени [8].

В работе Половинкина В.Н. «Современное состояние и проблемы развития отечественного машиностроения» абсолютно правильно изложено видение дальнейшего развития российского машиностроения в условиях инновационной экономики, опирающейся на информацию и знания. Общая тенденция развития машиностроительной отрасли довольно хорошо представлена в научной литературе, поэтому остановимся на мало изученной теме касающейся роли конкретного предприятия в понятии «новая экономика».

Доставшаяся от СССР структура оборонной и машиностроительной промышленности в основном состояла из максимально замкнутой на одном предприятии технологии: от выплавки чугуна и стали до производства печатных плат. Тогда это было необходимо мы этим гордились, не принимая во внимание затраты при таком технологическом процессе. На сегодняшний день, учитывая неизбежность срочного техпереворужения (отстали на 20 и более лет), при минимальном финансовом ресурсе, и новых возникших сложностей в виде санкций и импортозамещения необходимо термин «новая экономика» расширить до следующего понятия: на предприятиях инвестировать только в оборудование и технологии для той продукции, которую здесь конкретно можно произвести с минимальными затратами и очень хорошего качества, остальное купить на мировом глобальном рынке. Тогда не потребуются огромные капитальные вложения в новые технологии, в новейшее оборудование, а только избирательные инвестиции, такие расходы должны быть по силам нашим предприятиям и финансовым организациям. Кстати, по такому принципу работают все основные гиганты мирового машиностроения, например, немецкая машиностроительная компания «Либхерр», где собственное производство на своих предприятиях не превышает 30%, а остальное покупные комплектующие материалы и изделия.

Многие экономисты критикуют «отверточную сборку» на большинстве совместных предприятий автопрома, считаем, что это временное явление и в дальнейшем все придет в пределы: 35% - собственное производство, 65% - покупное. Конечно, для этого нужно время и финансовые возможности. Вывод и основное правило для предприятия машиностроительной отрасли в условиях «новой экономики» - делай у себя только то, что можешь лучше всех и не очень дорого, а остальное купи.

Теперь второй аспект огромных проблем на машиностроительных предприятиях – качество планирования:

1. Материалы и запасы на 1,5-2 года.
2. Незавершенное производство – рост в 5-9 раз (с 2003 по 2012 гг.).
3. Планирование поставок – квартал, иногда 1 месяц. Весь промышленный мир с 2000 года перешел на недельное планирование, а в Японии этот срок сокращен до 1 дня [9].

В связи с этим оборот капитала постоянно снижается, если 2005 году в среднем по ОПК Сибирского федерального округа (СФО) было 1,5 оборота в год, то 2011 году – 0,6 оборота. Проанализированы более 100 бухгалтерских балансов предприятий ОПК и статистика такова: с 2000 г. по 2011 г. прирост основного капитала - 0,2%, прирост оборотного капитала – 380%. Такие запасы совершенно не нужны в настоящее время – время информатизации, медиатизации, IT-технологий, это только лишние затраты на хранение, содержание складов, персонала и прочее. Незавершенное производство за этот же период выросло в 3 раза [9].

Главная причина в сложившейся ситуации - в плохом производственном планировании и отсутствии должной организации производства. Здесь может помочь только серьезная учеба топ-менеджеров или приход к руководству более подготовленных кадров для работы в рыночной экономике. Необходимо руководителю любого ранга в машиностроительной отрасли знать, что самое главное в экономике машиностроительного предприятия – это оборот капитала. При ускорении оборота капитала не нужна будет прибыль для финансирования оборотных средств, достаточно будет средств в обороте. Прибыль тогда можно направлять на инвестирование IT-технологий и более успешно включаться в новую технологию.

Литература.

1. Кругова Е.Ю. Становление новой экономики в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/stanovlenie-novoi-ekonomiki-v-rossii> (дата обращения 13.10.14.).

2. Половинкин В.Н., Фомичев А.Б. Современное состояние и проблемы развития отечественного машиностроения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4639> (дата обращения 11.10.2014)
3. Клеева Л.П., Воробьев И.В. Оценка уровня инновационного развития отечественной экономики. // Креативная экономика. 2011. № 9 (57). С. 98-107.
4. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.12.2011 г. № 2227-р [Электронный ресурс]. URL: (http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/doc20120210_04 (дата обращения 27.10.2014г.))
5. Кудрявцева С.С. Новая экономика: глобальные тенденции и перспективы России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hse.ru/data/499/480/1238/kudryavtseva.pdf> (дата обращения 10.10.14).
6. Мировая кооперация и китайские автомобили [Электронный ресурс]. URL: http://www.listochnik.ru/news/article_mirovaya-kooperacziya-i-kitajskie-avtomobili (дата обращения 11.10.14.)
7. Булатов А.Н. Место России в международной кооперации. // Экономические науки. 2010. № 10 (71). С. 7-10.
8. Перспективы развития российского машиностроения [Электронный ресурс]. URL: <http://protown.ru/information/hide/4486.html> (дата обращения 13.10.14)
9. Есаулов В.Н. 20 лет работы предприятий ОПК в рыночной экономике. // Вестник ТГУ. Экономика. 2012. № 3 (19). С. 11-18.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ В РАЗНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*О.А. Бывалец, к.с/х.н, доц., И.А. Авилова, д.б.н., проф., С.А. Чугунов, к.х.н., доц., А.Г. Беляев, к.б.н., доц.
Юго-Западный государственный университет
305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, тел. (4712)-54-59-75
E-mail: bivalec1@mail.ru*

Современная тенденция развития техники и технологии направлена на снижение материалоемкости и энергоемкости процессов. Проводятся исследования в области создания наночастиц с новыми свойствами.

Нанопорошки представляют собой составную часть наноматериалов, применяемых в разных отраслях промышленности. Теоретические и экспериментальные исследования наночастиц обусловлены широким спектром возможностей их практического применения как самих наночастиц, так и модифицированных ими материалов. Среди способов получения наночастиц большую группу образуют методы химического синтеза, основанные на восстановлении ионов металла до атомов в растворах, в условиях, благоприятствующих последующей агрегации атомов и ионов с образованием наночастиц.

Главной задачей в области синтеза было создание методов, позволяющих получать наночастицы металлов малого размера, в значительных количествах.

В процессе инновационного развития фундаментальных исследований, большое значение имеет разработка прикладных задач, связанных с технологией получения нанопорошков. Развитие данной технологии должна осуществляться параллельно по отношению к развитию областей их применения.

Методы, применяемые для получения нанопорошков, в значительной степени влияют на их активность. Порошки, полученные плазмохимическим синтезом, имеют широкий спектр распределение наночастиц по размерам, что свидетельствует о низкой селективности процесса и значительном содержании примесей в порошке.

Таким образом, определение путей и способов получения наночастиц металлов, является актуальным для разных отраслей промышленности, так как это способствует не только получению новых материалов с заданными свойствами, но и установлению допустимых диапазонов концентраций и размеров наночастиц в составе различных материалов.

Ключевые слова: наночастица, наноматериалы, плазмохимический синтез, способ получения нанопорошков металлов, отрасль промышленности.

Введение. Нанотехнология это современная область науки и техники, взаимосвязанная с разработкой устройств размером порядка нанометра, то есть одной миллиардной доли метра. Данные устройства включают от нескольких десятков до нескольких тысяч атомов. Основной целью уст-

ройств является работа с атомами и молекулами. В биологических молекулах расстояние между атомами измеряют в десятых долях нанометра.

Одним из разделов химии является нанохимия, занимающаяся изучением и исследованием структуры, строения и особенностей химических превращений наночастиц. Наличие размерного эффекта (качественного изменения физико-химических свойств и реакционной способности) при изменении числа атомов или молекул в частице является отличием раздела нанохимии. Размерный эффект чаще всего наблюдается у частиц, имеющих размер 10 нм.

Формирование наночастиц заключается в сочетании кристаллической фазы с незначительной скоростью ее роста и большой скоростью ее возникновения. Методы получения наночастиц разделяются на две группы. К первой группе принадлежат методы получения наночастиц, на основе которых затруднительно создать новые материалы (конденсация при сверхнизких температурах, химическое, фотохимическое восстановление). Вторая группа включает методы, которые позволяют из наночастиц создать наноматериалы (механохимическое дробление, плазмохимические методы).

Разделение методов на группы наглядно демонстрирует особенность их получения, которые условно делятся на подход «снизу», то есть наночастицы получают в результате укрупнения атомов и соединения элементов в одну систему (агрегации), и подход «сверху» - диспергирования. Подход «снизу» применяют для получения наночастиц химическим методом, а второй для получения наночастиц физическим методом.

Метод укрупнения атомов позволяет рассматривать единичные атомы как нижнюю границу нанохимии. Количеством атомов в кластере, при котором дальнейшее увеличение размера частицы качественно не изменяет химических свойств определяет верхнюю границу нанохимии.

Для получения металлов в виде порошка применяют химический метод - плазмохимический синтез. Плазмохимический синтез это метод получения высокодисперсных порошков (нитридов, карбидов, боридов и оксидов), при котором, реакция протекает при низкой температуре плазмы вдали от равновесия при высокой скорости образования зародышей новой фазы и малой скорости их роста. В качестве плазмы применяют низкотемпературную (400-800 К) азотную, аммиачную, углеводородную и аргоновую, которая получается в реакторах (плазмотронах) при помощи электрической дуги и электромагнитного поля или их сочетания. В плазмотронах, пролетая через зону, в которых поддерживается плазма, поток исходных веществ получает энергию для прохождения реакции химического превращения. Плазмообразующим газом в большинстве случаев является исходное вещество. Схема аппарата с электродуговым генератором плазмы приведена на рисунке 1.

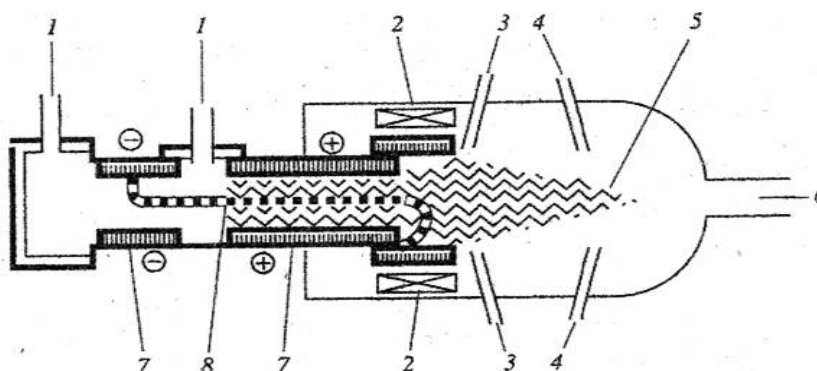


Рис. 1. Схема аппарата с электродуговым генератором плазмы.

- 1 - патрубки 1 для входа плазмообразующего газа;
- 2- электромагнитные катушки для поддержания плазменной дуги;
- 3- патрубки для ввода реагентов;
- 4- устройства ввода холодного газа;
- 5 – поток плазмы;
- 6- приемное устройство продуктов синтеза;
- 7- электроды;
- 8- столб дуги, образующийся между электродами.

Полученные продукты закаляют в трубчатых теплообменниках при помощи струи холодных газов или жидкости в охлаждаемых соплах Лавалля. Сопло Лавалля представляет собой газовый канал

особого профиля, по которому газовый поток разгоняется до сверхзвуковых скоростей. Схема сопла лавала представлена на рисунке 2.

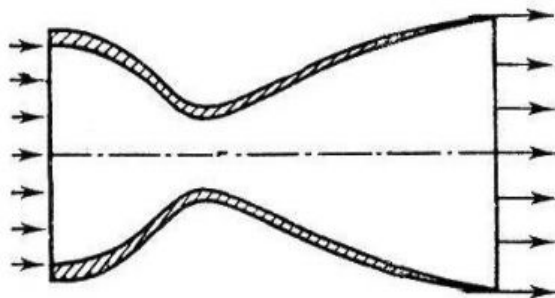


Рис. 2. Сопло Лавала

Порошки, полученные, плазмохимическим синтезом, имеют широкий спектр распределение наночастиц по размерам, что свидетельствует о низкой селективности процесса и значительном содержании примесей в порошке. Состояние потока веществ в сопло Лавала представлении на рисунке 3.

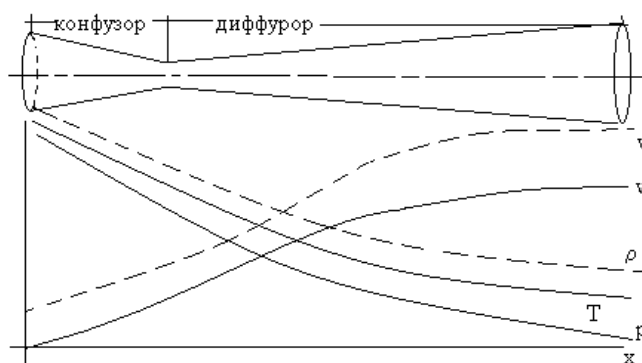


Рис. 3. Состояние потока веществ в сопло Лавала

Взаимодействие обрабатываемого вещества с плазмой сопровождается процессами плавления, диспергирования, испарения, восстановления и синтеза продукта.

Частицы, входящие в состав порошков, имеют вид монокристаллов, размеры которых колеблются в пределах от 10 до 100-200 нм и более. Нанокристаллы представляют собой кристаллы, имеющие размеры 10-15 нм и делятся на две группы. Идеальные нанокристаллы имеют совершенную структуру, они симметричные и имеют гладкие грани. Реальные нанокристаллы имеют дефекты, неровности на гранях и пониженную симметрию вследствие воздействия окружающей среды.

Полученные наночастицы, обладают значительной энергией. Метод плазмохимического синтеза позволяет получить высокодисперсные порошки нитридов титана, тантала, бора, алюминия, ванадия. В основе плазмохимического синтеза лежит принцип синтеза в электродуговом разряде, сопровождающийся испарением металла и последующего окисления частиц в кислородсодержащей плазме.

Процесс получения наночастиц металлов включает 2 основные стадии. На первой стадии происходит образование кластеров. На второй стадии - рост зародышей.

Наночастицы серебра это совокупность частиц атомарного серебра размерами 1-100 нм, поверхность которых окружена слоем молекул стабилизаторов.

Плазмохимический синтез, в отличие от других методов получения порошков металлов, характеризуется высоко производительностью, обеспечивает высокие скорости образования и конденсации соединения. Порошки, содержащие низкий процент примесей получают в безэлектродных высокочастотных и СВЧ - плазменных реакторах. Технологическая схема получения металлических порошков представлена на рисунке 4.

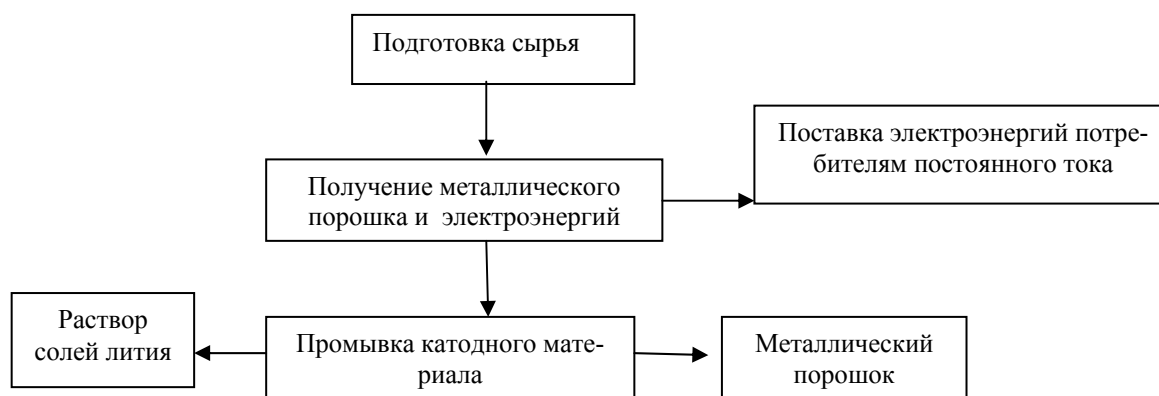


Рис. 4. Технологическая схема получения металлических порошков

Полученные нанопорошки металлов применяются в различных отраслях промышленности, использование которых оказывает непосредственное влияние на объемы их потребления. К наиболее востребованным нанопорошкам относятся кремнезем (SiO_2), диоксид титана (TiO_2) и глинозем (Al_2O_3). Структура востребованности нанопорошков представлена в таблице 1.

Таблица 1

Применение нанопорошков металлов в различных отраслях промышленности

№ п/п	Наименование отрасли	Применение нанопорошков, %
1	электроника и оптика	41
2	обрабатывающая промышленность	28
3	энергетика и охрана ОС	8
4	медицина и косметология	7
5	металлургия	3
6	аэрокосмическая промышленность	2
7	прочие	11

Данные таблицы свидетельствуют о том, что на современном этапе развития наибольший объем применения нанопорошков принадлежит электронике и обрабатывающей промышленности, а наименьший объем востребованности относится к аэрокосмической промышленности.

Одним из важнейших неорганических материалов является диоксид титана. Его применяют в качестве белого пигмента, фотокатализатора, полупроводника в солнечных элементах.

Для получения оксидов металлов, наиболее перспективным вариантом является использование неравновесных плазмохимических процессов, который позволяет не только снизить энергозатраты на проведение реакции, но и изменить условия синтеза. Методы получения нанодисперсного диоксида титана разделяются на газофазные и жидкофазные. Форма и структура наноразмерных частиц диоксида титана находятся в прямой зависимости от условий синтеза. При условии низкой концентрации, в исходной реагентной смеси частицы TiO_2 имеют шестигранное ядро с характерной столбчатой оболочкой. С увеличением концентрации форма частиц TiO_2 приобретает округлую форму и их поверхность покрыта более мелкими круглыми частицами.

Следовательно, изменение кристаллической структуры, формы и размера частиц получаемого диоксида титана находятся в прямой зависимости от исходной реагентной смеси.

Жидкофазный синтез нанодисперсного диоксида титана происходит при низкой температуре, не превышающей 100°C . Полученные частицы имеют аморфное состояние. В связи с этим, необходимо применять отжиг при температуре выше 600°C .

На современном этапе развития плазменная техника и технология используется для получения нанодисперсных порошковых материалов.

Проведенные исследования в данной области свидетельствуют о том, что нанодисперсные порошковые материалы, в отличие от обычных порошков, способствуют изучению фундаментальных проблем твердого тела и их практического применения.

Плазмохимия позволяет синтезировать новые материалы. Например, металлобетон при производстве которого, в качестве связующих материалов используются сталь, чугун, алюминий. Метал-

лобетон образуется в результате сплавления частиц горной породы с металлом. По показателю прочности он превосходит обычный бетон (на сжатие в 10 раз и на растяжение в 100 раз).

Плазмохимический метод позволяет превращать уголь в жидкое топливо без применения высоких давлений и выброса золы и серы. В результате данного процесса получается не только синтез-газ, но и другие соединения. Например, технический кремний, представляющий собой блоки кремния поликристаллической структуры и адсорбенты для очистки воды.

Для очистки сточных вод от загрязняющих веществ, применяют адсорбционный метод, позволяющий наиболее эффективно не только справиться с поставленной задачей, но и произвести рекуперацию этих веществ.

Данный вид очистки сточных вод применяется как индивидуально, так и в совокупности с биологической очисткой вод. Использование биологически активных элементов, формирующих несущую поверхность, покрытую биологической пленкой, на поверхности которой происходит скопление микроорганизмов и задержанных твердых веществ.

Очистка сточных вод осуществляется по двум направлениям. Первое направление заключается в извлечении вещества из адсорбента и его утилизацией (регенеративной), второе направление включает не только в извлечение из сточных вод вещества, но и уничтожением его вместе с адсорбентом (деструктивной).

В качестве адсорбентов применяют искусственные и природные пористые материалы. Наибольшим эффектом обладают такие адсорбенты как активированные угли, которые плохо взаимодействуют с водой и хорошо с органическими веществами.

Таблица 2

Характеристика активированного угля, применяемого для очистки воды.

№ п/п	Наименование показателя	Качественные характеристики
1	Пористость	60-70 %
2	Удельная поверхность	400-900 м ² /г.
3	Селективность	высокой уровень
4	Удерживающая способность	низкая

Адсорбция может происходить при разных условиях:

- в статистических условиях частица жидкости не перемещается относительно частицы адсорбента;
- в динамических условиях - частица жидкости перемещается относительно адсорбента.

Одной, из основных характеристик статической активности адсорбента, является наибольшее количество вещества, которое поглощается единицей адсорбента в момент достижения равновесия жидкости и начальной концентрации вещества при постоянных температуре. Динамическая активность адсорбента характеризуется количеством вещества, поглощенного единицей объема адсорбента до момента появления адсорбируемого вещества. В промышленности процент применения динамической активности адсорбентов, по сравнению с статической, значительно выше и составляет 45-90%. Технологическая схема адсорбции воды представлена на рисунке 5.

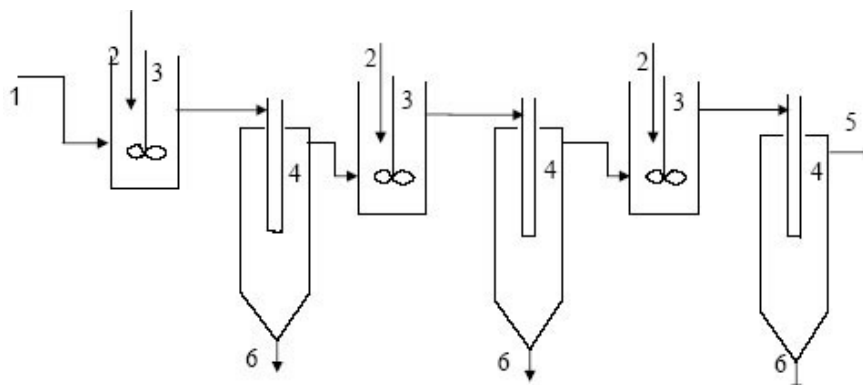


Рис. 5. Технологическая схема адсорбции воды: 1,2 – подача сточной воды и сорбента; 3 – резервуары с перемешивающим устройством; 4- отстойники для отделения отработанного сорбента от сточной воды; 5- выпуск обработанной сточной воды; 6- выпуск отработанного сорбента

Наиболее важным критерием оценки адсорбционных свойств адсорбента является изотерма, описываемая уравнениями Фрейндлиха или Ленгмюра.

$$\alpha = K_{ад} C_{равн} \quad (1)$$

где

α - удельная адсорбция, кг/кг;

$K_{ад}$ - адсорбционная константа распределения адсорбата между адсорбентом и раствором, ее величина при прочих равных условиях зависит от температуры;

$C_{равн}$ - равновесная концентрация адсорбируемого вещества на адсорбенте, кг/кг.

На процесс адсорбции оказывают влияние несколько факторов: температура воды, концентрация, природа и структура вещества, свойства адсорбента.

Заключение. Производство наноматериалов является динамично развивающейся отраслью. Особый интерес в данной области представляют наноструктуры металлов, имеющие различные размеры и формы кристаллических решеток. Разнообразные наноматериалы получают благодаря инновационным технологиям. Современная тенденция к миниатюризации, свидетельствует о том, что благодаря развитию нанотехнологии вещество может приобретать новые свойства. Наночастицы некоторых материалов обладают хорошими каталитическими и адсорбционными свойствами. Наночастицы обладают способностью к построению определенной структуры, которая содержит упорядоченно расположенные наночастицы и может проявлять заданные свойства.

Физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, зависят от их размера. В связи с этим, в последние годы проявляется значительный интерес к методам измерения размеров наночастиц в растворах: анализ траекторий наночастиц, динамическое светорассеяние, седиментационный анализ, ультразвуковые методы.

Литература.

1. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. Изд. 2-е, исправленное и дополненное. М.: Наука-Физматлит, 2007, 416 с.
2. Егорова, Елена Михайловна. Наночастицы металлов в растворах: биохимический синтез, свойства и применение: диссертация ... доктора химических наук : 03.01.06 / Егорова Елена Михайловна; [Место защиты: Моск. гос. акад. тонкой хим. технол.].- Москва, 2011.- 295 с.: ил. РГБ ОД, 71 12-2/21
3. Durr, M. Adsorption -/desorption-limited diffusion of porphyrin molecules in nano-porous TiO₂ networks / M. Durr, M. Obermaier, A. Yasuda, G. Nelles // Chem. Phys. Lett. 2009. 467. № 4 , P.358-360.
4. Д.В. Пономарев, А.И.Пушкарев, Г.Е.Ремнев Исследование морфологии и фазового состава TiO₂ и x.TiO₂+y.SiO₂, полученных методом неравновесного плазмохимического синтеза // Известия ТПУ . 2005. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-morfologii-i-fazovogo-sostava-nanodispersnyh-oksidov-tio2-i-x-tio2-y-sio2-poluchennyh-metodom-neravnovesnogo> (дата обращения: 27.06.2014).

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОТРАСЛИ РФ

А.В. Сушко, В.Г. Лизунков, А.Н. Лисачев

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: sushko.a.v@mail.ru; vladeslave@rambler.ru; lisatev@rambler.ru

Введение

Машиностроительное производство России является крупным сектором экономики страны. В последнее годы машиностроительная отрасль подвержена существенным конъюнктурным колебаниям. Тенденция «перманентной нестабильности» побуждает профильные компании интенсифицировать внедрение инноваций в целях увеличения эффективности операционных процессов и оптимизации издержек. Развитие отрасли осложняется высокой ресурсоемкостью, что предопределяет низкую конкурентоспособность конечной продукции. Кроме того, необходима технологическая модернизация автомобильной промышленности.

Сравнительный анализ производства легковых автомобилей развитых стран мира

В экономически развитых странах на долю машиностроительного производства приходится от 30 до 50% и более общего объема выпуска промышленной продукции (в Германии – 53,6%, Японии – 51,5%, Англии – 39,6%, Италии – 36,4%, Китае – 35,2%). Прибыль, получаемая от машиностроительной отрасли, обеспечивает полное техническое перевооружение всей промышленности развитых стран мира каждые 8-10 лет. При этом, доля продукции машиностроения в ВВП стран Евросоюза составляет 36-45%, в США – 10%. Доля машиностроения в ВВП РФ в период 1998-2013 гг. составляла около 6-13% (в СССР доля машиностроения в ВВП в 1990г. составляла около 40%)[1, 2].

Машиностроительная отрасль включает в себя более 20 подотраслей. В структурном разрезе по объему производства продукции основными являются автомобилестроение и оборонный сектор страны (рис.1).



Рис.1.

Объем производства продукции в структурном разрезе [3]

На рис.2 представлено соотношение производства автомобилей ведущими странами мира по итогам 2013г. в натуральном положении. Как мы видим, лидером рынка производства легковых автомобилей является Китай, он производит более половины продукции мирового рынка (22116 тыс.ед.). Россия в настоящее время производит столько же автомобилей (1970 тыс.ед. см.рис.3), сколько и 80-е годы 20 века предшествующего столетия.



Рис. 2. Производство легковых автомобилей в ведущих странах мира 2013г.

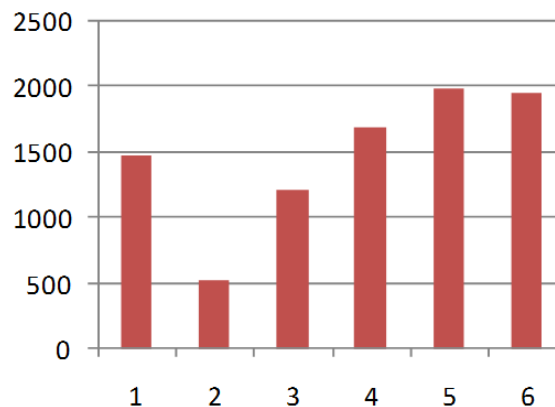


Рис. 3. Производство легковых автомобилей в России 2008-2013гг.

В 1980 г., Советский Союз располагал развитой автомобильной промышленностью. По объемам производства (1900 тыс.ед.) страна занимала пятое место в мире, в том же году в Южной Корее было произведено 123 тыс. автомобилей, в Китае – 222 тыс., в Индии – 114 тыс., в Мексике – 490 тыс., в Иране – 161 тыс., в Таиланде – 73 тыс. При этом, в указанных странах собственной национальной автомобильной промышленности не существовало. Однако за прошедший период, пока отечественная автомобильная промышленность «топталась на месте», Китай превратился в ведущего гиганта автомобильного производства (22116 шт.ед. в 2013г., хотя в 2008г. объем производства составил 8010 тыс.ед.), Индия, Мексика и Бразилия опередили Россию, а Иран и Таиланд практически приблизились к российскому уровню. В 2010г. в России было выпущено на 25% ниже, чем в 1980г., то есть в советское время автомобилей в стране производилось больше, чем в 2013г.

Вследствие снижения темпов роста производства автомобильной продукции страна уступает всем развивающимся странам мира: за 1980–2013 гг. объемы производства автомобилей выросли в Бразилии почти в 3 раза, в Мексике – в 5,5, в Иране – в 10, в Таиланде – в 20, в Индии – в 35, в Южной Корее – в 38, в Китае – в 83 раза, в то время как в России – только в 1,1 раза. В результате Россия скатилась с пятого места в мире на двенадцатое, и это, судя по всему, еще не предел.

Современное состояние российской автомобильной промышленности

Технический уровень создаваемых в последние годы российских автомобилей в основном соответствует международным требованиям, но, с существенной задержкой (до 4–7 лет) по времени. Имеется определенное отставание и по уровню надежности, ресурсу, топливной экономичности, уровню комфорта, по использованию в серийном производстве передовых технических идей и технологий.

Начиная с 2005 г. по настоящее время объем производства отечественных автомобилей сократился более чем на 40%, а выпуск у иностранных производителей вырос почти в 60 раз: в 2005 г. в стране производилось около 14 тыс. иностранных автомобилей, сегодня их выпуск превышает 1 млн. автомобилей в год. Несмотря на столь заметный формальный рост выпуска автомобилей на территории РФ, государственный бюджет это практически не «заметил». В 2–2,5 раза сократилось число сотрудников, работающих в отрасли [4]. Таким образом, на отечественном рынке доминируют автомобили, собираемые на зарубежных предприятиях, которые расположены на территории РФ, пополняющих в первую очередь казну своих государств.

Инвестиции как фактор экономической стабильности автомобильной промышленности

Для успешной деятельности машиностроительных производств, по мнению специалистов, необходимо предусматривать не менее 60% локализованных компонентов в собираемых изделиях [5]. Так, правительство Бразилии установило степень локализации своих судостроительных производств на уровне до 80% по числу комплектующих элементов. Для сравнения, соотношение импорта автомобилей, комплектующих изделий и запасных частей к экспорту аналогичных товаров отечественного автопрома в России в 2013 г. составило 69,7 млрд долл. к 3,8 млрд долл., соответственно. Если такое положение сохранится и дальше, говорить о перспективах развития отечественного автопрома и машиностроения в целом придется с большой осторожностью, так как при существующей политике исчезает сама промышленность, уступая место промышленной сборке.

Российское автомобильное производство и реализация должна удовлетворять порядка 70% внутреннего спроса. При этом в стоимости выпускаемой машиностроительной продукции доля собственных элементов полного цикла должна быть не менее 40–60%. Мы обеспечиваем внутренний спрос собственными силами не более чем на 30–35%, а доля собственных элементов составляет 25–30%.

Российские компании инвестировали в развитие отрасли в долевым отношении от объема реализации в 4–5 раз меньше своих иностранных конкурентов. Это является следствием недостаточной эффективности привлечения кредитов. Сегодня практически невозможно привлечь кредитные средства ни по срокам, сопоставимым со сроком окупаемости автомобильных производств (6–7 лет), ни по средним ставкам (8–10% годовых). А ведущие зарубежные автопроизводители привлекают долгосрочные средства по ставкам 5–6% и менее.

Главной причиной снижения темпов роста производства легковых автомобилей является отсутствие обоснованной, базирующейся на достижениях науки и техники, единой государственной стратегии преобразования и опережающего развития отечественного машиностроения. По нашему мнению, в России есть все необходимые условия для опережающего развития машиностроения. Это, прежде всего, собственные энергетическая и сырьевая база, развитая коммуникационная сеть, все ещё достаточный научный, интеллектуальный, кадровый, производственный и иные

потенциалы. Но, главное, имеется ясное понимание ситуации со стороны руководства государства и политическая воля к ее изменению в лучшую сторону.

Одним из главных условий модернизации современной экономики, гарантом перехода к новой, постиндустриальной стадии социального прогресса является инновационная деятельность. Затраты на НИОКР у российских автопроизводителей не превышают 1% годовой выручки, а в ведущих зарубежных компаниях – не менее 4–5%. Это приводит к тому, что цикл развития новых моделей в России значительно длиннее, в результате модельный ряд обновляется медленнее. Если за норму брать средний показатель затрат на НИОКР у глобальных производителей - 4%, то Россия должна направлять на эти цели не менее 44–53 млрд. рублей в год [2].

По предварительным оценкам, на разработку и приобретение новых технологий, перепрофилирование производственных мощностей в отечественном автомобилестроении понадобится около 100-150 млрд долларов.

Опыт свидетельствует о том, что 70% предприятий почти всех отраслей предпочитают закупку машин и оборудования прочим видам инноваций. Лишь 8% предприятий заинтересованы в закупке лицензий и патентов. Именно такие предприятия и фирмы необходимо поддерживать в первую очередь, предоставляя им соответствующие преференции.

Расчет показателя конкурентоспособности как фактор повышения уровня производительности легковых автомобилей РФ

Проблема расчета показателя конкурентоспособности связана с трудностями его количественного расчета [7]. Характеризуя ситуацию на рынке легковых автомобилей, можно сказать, что взвешенное суммирование отдельных факторов при определении показателя конкурентоспособности возможно использование веса отдельных факторов, которые определяются путем экспертных оценок [8]. До выхода на рынок автомобиль проходит несколько испытаний, при которых выстраиваются его технические характеристики независимыми экспертами. При расчете показателя конкурентоспособности необходимо использовать оценки независимых экспертов по отдельным критериям.

Мы определяем критерии, которые характеризуют показатель конкурентоспособности:

- Коэффициент функциональной пригодности;
- Коэффициент комфортности и эстетичности;
- Коэффициент надежности;
- Коэффициент антропометричности;
- Коэффициент экономичности;

Далее, рассчитываем все коэффициенты за прошедший период по годам. Критериям конкурентоспособности присваиваются баллы. Общий вес значимости (W) показателя оценки конкурентоспособности принимаем равным 100.

Далее, для нахождения значения показателя конкурентоспособности путем экспертных оценок определяем набор показателей i-ого элемента, который характеризует данный показатель. Далее, каждому критерию, на основе экспертной оценки присвоим вес W_j , учитывая влияние критерия на показатель конкурентоспособности. Определение весов осуществляется методом ранжирования. Значения весовых коэффициентов рассчитываются по формуле:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^n w_{jk}}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n w_{jk}}$$

где m – количество экспертов;

n – число «взвешиваемых» показателей;

w_{jk} – коэффициент весомости j-ого показателя в баллах, данный k-м экспертом, т.е. ранг этого показателя по мнению того же эксперта.

После расчета весов показателя конкурентоспособности оценивается согласованность мнений экспертов с помощью дисперсионного коэффициента конкордации:

$$K = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)}$$

где S – сумма квадратов отклонений суммы рангов каждого критерия показателя оценки конкурентоспособности от среднего арифметического рангов;

n – число экспертов;

m - число показателей оценки.

Значение K лежит в пределах: $0 \leq K \leq 1$. Если $K=1$, то мнение экспертов полностью совпадает по всем критериям.

Просчитав оценку весов, критерий оценки конкурентоспособности, мы формируем несколько рядов, в которые включаем A - фактические значения конкурентоспособности текущего периода, B - состоит из Q_j , на которые попадают фактические значения показателей оценки конкурентоспособности и C , который рассчитывается:

$$Q_t = Q_j^t \times W_j^t$$

где Q_j - значение оценки j -ого показателя оценки конкурентоспособности в период времени t ,

Q_j^t - балл j -ого показателя оценки конкурентоспособности в период времени t ;

W_j^t - вес j -ого показателя оценки конкурентоспособности в период времени t .

Сумма значений оценок формирует значение конкурентоспособности продукции, которое рассчитывается:

$$K_c = \sum_{j=1}^n Q_j$$

Выводы

В целом, наблюдается положительная динамика развития автомобильной промышленности РФ. Основная цель современного состояния автомобильной отрасли – модернизация оборудования и удовлетворения внутреннего спроса страны. Для достижения основной цели автомобильной промышленности необходимо решить комплекс задач:

Во-первых, низкая конкурентоспособность собственной выпускаемой автомобильной продукции. Потребитель стал капризным и требовательным. Выпускаемая в настоящее время продукция могла удовлетворить спрос покупателей лет 7 назад. Последние пять лет российские автомобили малопривлекательны для граждан страны. Для повышения конкурентоспособности продукции необходимо повысить технический уровень надежность автомобилей, уровень комфорта, топливную экономичность и т.д.

Во-вторых, для повышения конкурентоспособности собственной автомобильной продукции и ее переоснащения, необходимо увеличить затраты на НИОКР в 2-3 раза больше, чем они составляют в настоящее время.

В-третьих, прослеживается отток специалистов НИОКР и нехватка профессиональных кадров в автомобильной отрасли. Тяжелые условия труда, низкая заработная плата, не востребованность со стороны руководства, негативно влияют на темпы роста автомобильной продукции и экономики страны в целом.

Вышеизложенные задачи необходимо решать в комплексе с участием государственного сектора. Возможности предпринимательского сектора автомобильной промышленности и его потенциал зависит от скоординированной государственной экономической политики.

Литература:

1. European Industry in a Changing World. Commission of the European Communities (2009).
2. Аналитический бюллетень. Машиностроение: анализ и прогнозы. – 2013. Выпуск №13
3. Информация на сайте http://www.perspectivy.info/rus/ekob/globalnyj_rynok_mashinostrojenija_2013-10-24.htm
4. A.N. Lisachev. Local economic policy: principal stages of development, basic types, tools and strategies / Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P.224-228
5. C. Wanner. Stille Riesen. Manufacturing Now. Stuttgart. 2010.
6. The 12th Five-Year Plan: China' Economic Transition, Economist Corporate Network. Shanghai. 2011.
7. Зулкарнаев И.У. Ильясова Л.Р., Метод расчета интегральной конкурентоспособности промышленных, торговых и финансовых предприятий. Опубликовано в журнале "Маркетинг в России и за рубежом" №4 год - 2001
8. Д.М. Федотов. Инновационные задачи и процессы развития металлургической промышленности России // Российское предпринимательство. - 2013. - № 11 (233). - С. 85-90.

**ИНЖЕНЕРНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ЭКСПЕРТОВ-ЭКОЛОГОВ В ОБЛАСТИ
ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*В.А. Пономарёв, доц., Л.Г. Полецук, к.филос.н., доц., А.А. Солоха, студ. гр. 10А11
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51)-6-05-37
E-mail: PWA13@mail.ru*

Одним из важных направлений государственной экологической политики Российской Федерации является экологическое просвещение и информирование, воспитание бережного отношения к природе и рационального использования природных ресурсов. С помощью этих составляющих формируются инженерные компетенции экспертов-экологов в различных областях их деятельности.

Известно, что эффективность любых природоохранных мероприятий во многом зависит от экологической грамотности инженеров, которая и формирует их инженерные компетенции. В целом, возможно и определение категории инженерной компетенции экспертов-экологов как совокупности человеческого опыта, научных, ненаучных и вненаучных знаний об отношении общества с природой, выражающихся в специфически-субъективированных особенностях экологического сознания, отражающего конкретно-социальную среду и конкретно-природные условия жизни субъекта [5. С. 29.]. Исходя из определения, каждый гражданин должен знать свои права и обязанности по защите окружающей природной среды, в соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» [9. Ст. 3.; Ст. 11. Ч. 2, 3.].

Несмотря на возрастающий интерес населения к проблемам охраны окружающей среды, общий уровень экологического сознания и доступность экологической информации недостаточен. Для повышения уровня информированности в этой сфере необходимо дальнейшее развитие и поддержка инициатив, направленных на формирование инженерных компетенций экспертов-экологов.

Для того, чтобы обладать компетенциями в области экологии, современный инженер, наряду с хорошими знаниями, должен обладать и высокой культурой. А это предполагает, что он должен иметь экологические знания и умения, экологическое мышление, ценностные ориентации, экологически оправданное поведение [8. С. 57.]. Большой вклад в решение проблем экологического воспитания и образования вносят на институциональном уровне учреждения образования. Именно они занимаются непосредственной работой по экологическому образованию, воспитанию и просвещению.

Важными направлениями формирования инженерных компетенций в области экологии являются: активизация мышления, эмоциональная переоценка собственного отношения к природе, анализ связей между человеком и природой. Корректную постановку задачи по охране окружающей среды и нахождение методов её решения следует рассматривать как важнейшую созидательную сторону инженерной деятельности в XXI веке [4. С. 4.]. Каждый инженер, заинтересованный в развитии и процветании своей страны, в отношении экологической парадигмы XXI в. должен иметь и отстаивать свою позицию в отношении этой важной мировой проблемы.

Совершенствование отечественной нормативной базы остаётся ключевой задачей на пути преодоления регулирующих, институциональных и экономических барьеров для эффективного управления отходами. Кроме того, существует ещё ряд проблем, связанных с низким уровнем информированности граждан, отсутствием системы сбора отходов, базы данных эффективных технологий по их переработке. Не существует нормативных актов для контроля и поощрения экологически безопасного управления данными отходами.

Существующая ныне законодательная база в области обращения с отходами обладает рядом существенных недостатков и, в первую очередь, – это отсутствие ответственности производителя (импортёра) за утилизацию своей продукции в конце жизненного цикла. В нормативно-правовых актах Российской Федерации отсутствуют реальные экономические стимулы вовлечения отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов. Нерационально распределены полномочия в области регулирования деятельности по обращению с отходами между государственными и муниципальными властными структурами. Не введены правовые нормы, предусматривающие управление потоками отходов, в том числе и резинотехнических изделий, на региональном уровне. В результате основная масса отходов, вопреки законодательству, вывозится на полигоны для захоронения, на несанкционированные свалки или сжигается без соблюдения мер по охране окружающей среды с потерей ценных вторичных ресурсов.

Потребности человечества в природных ресурсах непрерывно растут, их стоимость постоянно повышается. Одним из направлений сокращения потребления природного сырья является использование потенциала материальных ресурсов, накопленных в отходах. Отработанные резинотехнические изделия и шины являются ценными вторичными материальными ресурсами.

Воздействие транспорта и обеспечивающей его функционирование инфраструктуры сопровождается значительным загрязнением окружающей среды. Основные виды воздействия: загрязнение атмосферного воздуха токсичными компонентами отработавших газов транспортных двигателей, выбросы в атмосферный воздух от стационарных источников, загрязнение водных объектов, образование производственных отходов и воздействие транспортного шума [6. С. 198.].

Основными источниками загрязнения окружающей среды являются автотранспортные предприятия, базы дорожно-строительной техники, гаражи, стоянки и другие места хранения и длительной парковки транспортных средств, пункты мойки, топливозаправочные станции, станции технического обслуживания, мастерские и другие предприятия по техническому обслуживанию и ремонту транспортной и дорожно-строительной техники, а также, дороги, мосты, автомобильные рынки и магазины. Автотранспорт пагубно воздействует не только на окружающую среду (атмосферу, почву, воду), но и образует ряд производственных отходов. Основными отходами автотранспорта являются металлические части автомобиля (в частности, цельнометаллический кузов, несущая рама и расположенные на ней агрегаты) и резиновые шины всех типов [3. С. 30.]. Следовательно, резина и металл должны быть переработаны как с экологической, так и с экономической точки зрения.

В последнее время в нашей стране внедряются экологические программы по вторичному использованию и переработке основных частей отслуживших своё автомобилей, в том числе и резинотехнических изделий (шин и др. резиносодержащих отходов). Во многих странах большое внимание уделяется проблеме использования образующихся во всё возрастающих количествах отходов производства и потребления, в том числе изношенных шин, которые являются одним из самых многотоннажных полимерных отходов.

Проблема использования изношенных шин имеет важное экологическое значение, поскольку вышедшие из эксплуатации шины накапливаются в местах их эксплуатации (в автохозяйствах, на аэродромах, промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, горнообогатительных комбинатах и т.д.). Вывозимые на свалки или рассеянные на окружающих территориях, шины длительное время загрязняют окружающую среду вследствие высокой стойкости к воздействию внешних факторов (солнечного света, кислорода, озона, микробиологических воздействий). Кроме того, шины обладают высокой пожароопасностью, а продукты их неконтролируемого сжигания оказывают крайне вредное влияние на окружающую среду (почвы, воды, воздушный бассейн). Эта же проблема имеет также существенное экономическое значение, поскольку потребности хозяйства в природных ресурсах непрерывно растут, а их стоимость постоянно повышается.

Использование изношенных шин, содержащих помимо резины, технические свойства которой близки к первоначальным, большое количество армирующих текстильных и металлических материалов, является источником экономии природных ресурсов. Кроме того, ликвидация свалок изношенных шин позволит освободить для использования по назначению значительные площади занимаемых ими земель.

Для успешного решения проблемы вторичного использования и переработки изношенных шин в России необходима разработка и принятие комплекса мер, регламентирующих порядок их учёта, сбора, хранения и поставки на переработку, подготовка и продвижение на федеральном и региональном уровнях законодательных актов, стимулирующих увеличение объёмов восстановительного ремонта и переработки изношенных шин. Требуется также создание рынка изделий и материалов, изготавливаемых из получаемого при переработке вторичного сырья. Такая работа уже давно ведётся в США и странах Западной Европы при активном содействии Всемирной ассоциации переработчиков шин (ITRA) и ETRA.

Утилизация резинотехнических изделий и изношенных шин имеет большое экологическое и экономическое значение и для России, т.к. масса накопленных и не переработанных шин составляет на её территории около 1 млн тонн. В Кемеровской области зарегистрировано около 300 тысяч автомобилей. Не все из них находятся в эксплуатации: от многих остались лишь остовы, разбитые аккумуляторы с вытекающей из них кислотой и шины, которые захламляют городские и пригородные лесные зоны, образуя стихийные свалки.

В то же время, каждый год число отработанных автошин увеличивается на 50 тысяч штук (500 тонн), образуется более 50 тонн отработанных масел [3. С. 33.]. Из этого следует, что одним из важных направлений в экологии является переработка и утилизации отходов резинотехнических изделий.

В составе отходов резинотехнических изделий изношенные шины (автомобильные, авиационные, колёсных тракторов, прицепов, строительной, подъёмной, специальной и военной техники) составляют подавляющее большинство. Темпы роста объёмов их образования во всём мире увеличиваются ежегодно. В соответствии с действующим в России законодательством изношенные шины захоронению и сжиганию на полигонах не подлежат. Остаётся единственный вариант – изношенные шины собрать и переработать.

Известно, что вышедшие из эксплуатации изношенные шины являются источником длительного загрязнения окружающей среды: шины не подвергаются биологическому разложению; они огнеопасны и в случае возгорания погасить их достаточно трудно, а при горении в воздух выбрасываются вредные продукты сгорания и в том числе канцерогены; при складировании они служат идеальным местом для размножения грызунов и кровососущих насекомых – переносчиков инфекционных заболеваний. Вместе с тем амортизированные автошины содержат в себе ценное сырьё: каучук, металл и текстильный корд. Эти материалы в процессе эксплуатации в основном не меняют первоначальные свойства. Проблема переработки изношенных автомобильных шин и вышедших из эксплуатации резинотехнических изделий имеет большое экологическое и экономическое значение для всех развитых стран мира. А невосполнимость природного нефтяного сырья диктует необходимость использования вторичных ресурсов с максимальной эффективностью. В развитых странах в настоящее время предпринимаются попытки создать технологии по переработке изношенных шин, которые позволили бы повторно использовать резину в различных товарах и материалах [1. С. 700.].

В настоящее время в мире применяется целый ряд технологий по переработке и утилизации отходов резины и изношенных автомобильных шин. Эти технологии предполагают использование целых шин для различных целей, применение шин и резиновых отходов для получения энергии (сжигание, использование в цементной промышленности), измельчение шин и отходов резины с целью получения резиновой крошки и порошка, получение на основе отходов резины и старых шин регенерата.

С точки зрения экологии использование изношенных шин для получения энергии оценивается неоднозначно. В первую очередь это связано с выделением соединений цинка и оксидов серы в атмосферу.

В то же время, отмечается, что продукты сжигания шин в печах могут не загрязнять атмосферу и в техническом отношении нет проблем в организации полного и безопасного сгорания шин в существующих печах, оборудованных соответствующими фильтрами очистки выбросов [1. С. 700.]. Но создание печей и очистительных установок для улавливания вредных газов и соединений тяжёлых металлов требуют больших затрат. Применение шин в качестве топлива требует затрат порядка 20-25 или даже 30-35 долл. США на тонну [10. С. 76.]. Метод сжигания шин неперспективен также с энергетической точки зрения. С учётом КПД при сжигании легкой шины количество энергии примерно равно получаемой от сжигания 3 л нефти. По данным изготовителей энергия, накопленная в шине, равна энергии, получаемой при сжигании 27...30 л нефти (21 л расходуется на изготовление сырья и 6 л на процесс переработки) [1. С. 700-701.].

В Кемеровской области существует много заводов, где можно использовать отработанные покрышки. Такие заводы, как ферросплавный, Юргинский машиностроительный завод, завод «ТехноНИКОЛЬ-Сибирь», асфальтный завод и другие. К сожалению, эта технология применяется на единичных предприятиях. На Новокузнецком металлургическом комбинате (ОАО «НКМК») специалистами внедрена и успешно применяется прошедшая экологическую экспертизу технология утилизации использованных автомобильных покрышек в кислородных конвертерах.

С целью эффективной реализации данной технологии, предприятие должно создать возможности и разработать механизмы поддержки, необходимые для осуществления своей экологической политики и достижения целевых и плановых показателей. Для того чтобы достичь целевых показателей, предприятие должно нацелить на это своих сотрудников, системы, стратегию, ресурсы и структуру, разработать систему ответственности и отчётности [7. С. 96.].

Отработанные автопокрышки от легковых и грузовых автомобилей, способны заменить уголь, который традиционно используется при производстве стали. На Западносибирском металлургическом комбинате (г. Новокузнецк) провели ряд экспериментов, в частности, чтобы предотвратить опасность взрывов при производстве, так как покрышки содержат большое количество водорода. В итоге оказалось, что автомобильные шины – превосходное топливо для предварительного подогрева

металлолома. Тонна угля в среднем стоит 800 р., а отработанные покрышки никаких дополнительных затрат не требуют. Автотранспорт комбината регулярно может поставлять довольно внушительное количество отслужившей авторезины. К тому же есть немало предприятий, которые желают утилизировать шины [10. С. 79.].

В настоящее время на заводе «Моссантехпром» действует опытно-промышленная установка по переработке резиновых отходов и изношенных автомобильных шин, производительностью 300 кг исходного сырья в час. Главным направлением использования продуктов переработки резиновых отходов является возможность использования их в качестве исходного сырья для резиновой промышленности (маслосмягчители, техуглерод и т.д.), промышленности нефтеоргсинтеза, в дорожном строительстве для производства битумных эмульсий и мастик. В ряде стран изношенные шины используются в качестве топлива для получения энергии, а также в цементной промышленности, однако такие направления использования являются низкоэффективными, поскольку не позволяют в полной мере реализовывать те ценные материалы, которые содержатся в шинах. Резиновые отходы целесообразно перерабатывать таким образом, чтобы одновременно с решением проблемы их уничтожения, получать ценные сырьевые и энергетические ресурсы [3. С. 32.].

В целях повышения инженерных компетенций экспертов-экологов в области переработки и утилизации отходов резинотехнических изделий необходимо создать систему всеобщего, комплексного и непрерывного экологического воспитания и образования, которая охватила бы весь процесс образования, профессиональной подготовки специалистов в средних и высших профессиональных образовательных учреждениях, а также учреждениях повышения квалификации [8. С. 59.].

На проводимых конференциях различного уровня обсуждаются вопросы, напрямую связанные с темой данной статьи:

- анализ практики сбора и переработки шин в Европе, США и в России;
- правовые аспекты управления отходами резинотехнических изделий и шин;
- современные технологии и научные исследования в области переработки, вторичного использования и обезвреживания отходов резинотехнических изделий и шин;
- внедрение технологий дальнейшего использования продуктов переработки отходов резинотехнических изделий и шин в производстве;
- основные потребители продукции переработки отходов резинотехнических изделий и шин.

Отсутствие системы утилизации резинотехнических изделий в России является препятствием к созданию новых специализированных предприятий по переработке резинотехнических изделий и шин.

Авторы статьи вносят свои предложения по улучшению экологической ситуации в стране и регионе в целом, а также по обращению с отходами резинотехнических изделий:

- обращение в Министерство транспорта РФ с инициативой гармонизировать с международными стандартами и разработать техническую и проектную документацию по применению отходов резинотехнических изделий, в том числе при выполнении работ в дорожном строительстве;
- проведение маркетинговых исследований по определению ассортимента продукции, которая может быть изготовлена из отходов резинотехнических изделий;
- разработка Федерального закона «О вторичных материальных ресурсах» в качестве основополагающего документа отходоперерабатывающей отрасли;
- создание инициативной группы по формированию отраслевого оператора в области обращения с отходами резинотехнических изделий.

Средства массовой информации также играют важную роль в повышение инженерных компетенций экспертов-экологов. Печатное и устное слово, телевизионное изображение способны в кратчайшие сроки достигнуть самых отдалённых районов, проникнуть в любую социальную среду. Поэтому необходимо активно привлекать средства массовой информации к проблемам сохранения и улучшения окружающей среды.

Данное исследование показало, что переработка и утилизация резинотехнических изделий в России в целом и, в сибирском регионе, в частности, остаётся на проблемном уровне по многим причинам.

Авторами статьи внесено несколько предложений по улучшению экологической ситуации в стране и регионе, а также обращения с отходами резинотехнических изделий. Они также считают, что только приход на предприятия металлургической, горнодобывающей и других ведущих отраслей промышленности нового поколения инженеров, владеющих вопросами ресурсо- и энергосбережения, организация эффективного управления отходами, включая минимизацию образования, переработку,

обезвреживание, безопасное захоронение, сможет обеспечить перелом существующей экологической ситуации в промышленно развитых российских регионах [2. С. 22].

Таким образом, в качестве ожидаемых результатов можно предположить, прежде всего, что будет принят Федеральный закон «О вторичных материальных ресурсах» (проект которого уже существует), а также разработаны и внедрены в производство новые технологии в области переработки и утилизации отходов резинотехнических изделий, которые смогут значительно оптимизировать проблему загрязнения окружающей природной среды. Кроме того, благодаря включению в производство руководителей, владеющих инженерными компетенциями в области ресурсо- и энергосбережения, будет обеспечена организация эффективного управления отходами.

Литература.

1. Валуев Д. В., Ананьева О. Р. Перспективы переработки автомобильных покрышек // Вестник науки Сибири. – 2011. – №1 (1). – С. 699-704.
2. Волюнкина Е. П., Коротков С. Г. Подготовка специалистов в области переработки отходов в Сибирском государственном индустриальном университете // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сб. докладов второй Международной научно-практической конференции / под. ред. Е. В. Протопопова, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2008. – С. 18-23.
3. Воскресенская Т. П., Громова О. Д. О проблемах утилизации и переработки отходов автотранспорта // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сб. докладов второй Международной научно-практической конференции / под. ред. Е. В. Протопопова, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2008. – С. 30-34.
4. Кальнер В. Д. Экологическая парадигма глазами инженера. – М.: Изд. «Калвис», 2009. – 400 с.
5. Полещук Л. Г. Формирование экологического мировоззрения студентов технических вузов: монография / Л. Г. Полещук. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 112 с.
6. Протасов В. Ф. Экология здоровья и охрана окружающей среды в России. Учебное и справочное пособие. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 672 с.
7. Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Ильина М. Е. Экологический менеджмент. Учеб. Пособие / Владим. гос. ун-т, Владимир, 2003. – 291 с.
8. Шлыкова О. В. Формирование экологической культуры студентов // Формирование экологической культуры и развитие молодёжного движения / Под. ред. В. М. Захарова. – М.: Акрополь, Центр экологической политики и культуры, Центр экологической политики России, 2008. – С. 57-60.
9. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 12.03.2014) «Об охране окружающей среды» // СЗ РФ. 14.01.2002. – №2. – Ст. 133.; Российская газета. – 2002. – 12 янв.
10. D. V. Valuev, A. A. Semenov, D. O. Kotova, A. V. Valueva. Prospects for of processing car tires // Applied Mechanics and Materials Vol. 682 (2014) pp 75-79 Submitted: 04.07.2014.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Абдеев Б.М. 208
Авилова И.А. 464
Аксёнов В.В. 68, 114, 145, 165, 180
Алексеев Л.Н. 435
Ананьев К.А. 68, 180
Антонов Г.Д. 20, 24, 405
Антонова И.С. 405
Анучин А.В. 161
Артамонов Д.В. 51
Артамонов Е.В. 243, 250
Архипкин Д.И. 319
Архипов П.В. 323
Архипова Д.А. 361
Ахметжанов Т.Б. 170
Бабакова Е.В. 14, 17, 376
Баранникова С.А. 383
Бачева А.В. 305
Баяндина О.В. 342, 357
Бегляков В.Ю. 86, 90, 114, 145
Безруких А.А. 393
Беляев А.Г. 464
Бендре Ю.В. 312
Битусев И.К. 224
Блащук М.Ю. 94, 134, 140
Богомоллов И.Д. 129
Бойков Д.В. 238
Борисов А.Ю. 105, 110
Бояршинов М.Г. 119, 122
Брим Т.Ф. 208
Булкин В.В. 402
Булыгин Ю.И. 435
Бульбович Р.В. 186, 194
Бурова О.А. 416
Бусыгин С.Л. 342
Буялич Г.Д. 161, 199, 202
Буялич К.Г. 199, 202
Буянкин П.В. 129
Бывалец О.А. 464
Вальтер А.В. 165
Василега Д.С. 243
Василькив В.В. 278
Великанов Н.Л. 284
Винокуров Н.В. 303
Войтов М.Д. 184
Волков А.А. 414
Волокитин Г.Г. 397
Воробьев А.В. 105, 110, 129
Галевский Г.В. 220, 365
Гизатулин Р.А. 328
Глушенко А.И. 63
Головатенко А.В. 347
Горгоц В.Г. 149
Готовко С.А. 393
Григорьева А.А. 75
Григорьева А.В. 268, 288, 291
Григорьева Е.Г. 59
Грубый С.В. 271, 317
Даненова Г.Т. 170
Дмитриева А.В. 458
Дмитриенко В.И. 367
Добровольский В.Г. 332
Добрычева И.В. 454
Дрелих И.В. 48, 376
Дронов А.А. 134, 161
Дудихин Д.В. 14, 328
Еременко Ю.И. 63
Ермаков А.Н. 68, 180
Есаулов В.Н. 461
Ефимова К.А. 365
Ефременков А.Б. 86
Земенков Ю.Д. 217
Зернин Е.А. 228, 372, 383, 390
Ибрагимов Е.А. 17, 376
Иванова О.П. 20, 24, 405
Изоткина Н.Ю. 55
Инденко О.Н. 81
Кадыков В.Н. 347
Казанцев А.А. 97
Казьмина О.В. 262
Кардаполова М.А. 256
Карманов В.В. 303, 305
Карцев Д.С. 390
Киреев В.В. 250
Кириллов И.Н. 402
Клишин С.В. 90
Клопотов А.А. 397
Ковенский И.М. 380
Козырев Н.А. 238, 309, 312, 328
Козырева О.Е. 309
Кокарева В.В. 46, 154
Коленчин Н.Ф. 339
Кононькина А.Д. 419, 423
Коперчук А.В. 300
Кориков А.М. 38
Кормин А.Н. 212
Корниенко Л.А. 233
Корягин С.И. 284
Косовец А.В. 30, 416
Косых В.П. 94
Крампит М.А. 372
Крутский Ю.Л. 248
Крюков Р.Е. 312
Кудряшова И.А. 205
Кузнецов В.П. 149
Кузнецов М.А. 228, 383, 390
Кузнецова В.В. 248
Курмаев М.Н. 414
Куровский В.Н. 419
Кусков В.Н. 217, 339, 380
Кусков К.В. 380
Куст Т.С. 140
Лавриков С.В. 97
Лагунов С.Е. 317
Лебедева Е.Ю. 262
Лизунков В.Г. 469
Лисачев А.Н. 469
Литвинов А.Н. 51, 191
Литовкин С.В. 433
Лобанов Д.В. 42, 323
Ложилова М.А. 419
Лукашов А.С. 228
Луцко Н.И. 256
Макаров В.Ф. 288, 291
Макеев М.П. 176, 212
Мальхин А.Н. 154
Мамадалиев Р.А. 217
Маметьев Л.Е. 105, 110
Медведева О.В. 448
Мейстер Р.А. 393
Месхи Б.Ч. 435
Мещеряков Я.Е. 38
Михайлова Д.С. 357
Михальцова Л.Ф. 419
Михеев Д.А. 134
Мурин А.В. 300
Муслиманова Г.Е. 208
Нгуен Суан Тьук 233
Некрасов Р.Ю. 34
Некрасова А.А. 275
Нестерук Д.Н. 30, 416
Новосельцев Ю.Г. 357
Нуртдинов А.С. 303
Осетковский И.В. 309
Осипов Ю.М. 55
Осипова В.Г. 352
Остапенко М.С. 243
Павлов Е.В. 295, 297
Павлова М.А. 295, 297
Павлоградский В.В. 186, 194
Пальчиковский В.В. 186, 194
Панин С.В. 233
Панин Ю.В. 305
Панова Н.В. 83
Перевезенцев Б.Н. 414
Песин М.В. 266, 268
Пестов С.П. 73
Петрушин С.И. 317
Петькова Ю.Р. 433
Писарев В.В. 186
Писарев П.В. 194
Платонов М.А. 367
Поболь О.Н. 427
Подзорова Е.А. 416
Полещенко Д.А. 63
Полещук Л.Г. 474
Пономарёв В.А. 474
Попова А.А. 217
Потапова Л.А. 173
Проничев Н.Д. 46
Рак Д.В. 145
Ревуженко А.Ф. 90, 94, 97
Рожихина И.Д. 367
Руднева В.В. 220, 365
Рычков Д.А. 42
Савичева С.В. 11
Садовец В.Ю. 86, 114
Сапрыкин А.А. 14, 17, 328, 376
Сатгарова К.Т. 46
Серикбол А. 386
Скоробогатов А.С. 149
Смелов В.Г. 154
Смирнов И.В. 319, 332
Смирнова А.И. 319
Смыслов А.И. 212
Соловенко И.С. 423
Соловьёв И.В. 34
Солоха А.А. 474
Стариков А.И. 34
Статников И.Н. 157
Субботин Д.А. 266
Суханова Е.В. 256
Сушко А.В. 469
Сырямкин В.И. 55
Тайлаков О.В. 176, 212
Титов Д.А. 309
Торосян В.Ф. 442
Торосян Е.С. 442
Трипус Т.Е. 184
Трифонов В.А. 55, 410, 454
Трушков В.А. 119
Туранский Р.А. 268, 288, 291
Уманский А.А. 238, 347
Умрихина В.Ю. 199
Уткаев Е.А. 176
Фадеев Ю.А. 184

Алфавитный указатель авторов

Федосеев С.Н. 275, 352, 355, 458	Храмцов И.В. 186, 194	Шавва М.А. 271	Шешуков О.Ю. 328
Фирсов Г.И. 157, 427	Цеплит А.П. 75	Шадрина П.Н. 339	Шурупов В.М. 309
Фисоченко Е.Г. 173	Цхай Э.Б. 397	Шакиров Р.К. 266	Юшков В.П. 442
Хади О.Ш. 191	Чинахов Д.А. 59	Шарафутдинова А.С. 355, 367	Янюшкин А.С. 42, 323
Хорешок А.А. 68, 105, 110, 129, 180	Чугунов С.А. 464	Шарков О.В. 284	
	Шабашев В.А. 454		

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

11-12 декабря 2014 года

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Е.Г. Фисоченко


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 03.12.2014. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка»
Печать XEROX. Усл. печ. л. 55,94. Уч.-изд. л. 50,6
Заказ 1209-14. Тираж 200 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  тпу. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru