

СПМ

**международная
научно-практическая
конференция**



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

www.tpu.ru

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник трудов
XIV Международной научно-технической конференции

25–30 октября 2021 г.

Томск 2021

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

УДК 621.002(063)

ББК 34.4л0

С56

С56 **Современные проблемы машиностроения** : сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции. – Томск : Томский политехнический университет, 2021. – 338 с.

Сборник содержит доклады XIV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», проходившей в г. Томске 25–30 октября 2021 г. Конференция проведена по секциям: надежность машин и механизмов; электромеханика и мехатроника; современные производственные технологии; материаловедение и нанотехнологии в машиностроении; автоматизация и моделирование технологических процессов; промышленная безопасность; дизайн и проектирование в машиностроении; наземно-транспортные машины и комплексы; школьная секция.

Предназначен для специалистов в области материаловедения, сварки, машиностроения, а также для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.002(063)

ББК 34.4л0

Редакционная коллегия

Е.Н. Пашков, к.т.н., и.о. руководителя ООТД ШБИП ТПУ;

М.С. Черемискина, ст. преподаватель ООТД ШБИП ТПУ;

В.Н. Козлов, к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ;

В.Н. Дерюшева, к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ;

Е.А. Ефременков, к.т.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ;

С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ;

А.И. Сечин, д.т.н., профессор ООТД ШБИП ТПУ;

С.Н. Сорокова, к.ф.-м.н., доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ;

А.М. Богдан, эксперт орг. отдела ИШИТР ТПУ;

Е.А. Кулинич, к.т.н., ученый секретарь ТПУ;

П.В. Исаенко, к.т.н., доцент кафедры АТиЭ ТГАСУ.

Оглавление

СЕКЦИЯ 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ.....	15
БИПЛАНЕТАРНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ <i>Ахмеджанов Ю.А.</i>	16
НАДЕЖНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ (ФЕРМ) <i>Блинова А.А.</i>	18
РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДУ <i>Валитова Е.Ю., Юсупов М.М.</i>	20
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ РАДИАЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ <i>Дога Д.В.</i>	22
ОБЗОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЗВЕНЬЕВ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ <i>Ефременков Е.А., Завьялов Ф.Д.</i>	24
АНАЛИЗ РАБОТЫ СТАНКА КАЧАЛКИ С КРИВОШИПНО КУЛИСНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРИВОДА <i>Зеремская С.А.</i>	26
РАЗРАБОТКА БЕЗБАЛАНСИРНОГО СТАНКА-КАЧАЛКА <i>Зиякаев Г.Р., Куклин Е.О.</i>	28
УСТОЙЧИВОСТЬ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ ПЛАНЕТАРНОЙ МОНОМЕЛЬНИЦЫ <i>Ильичева М.А.</i>	30
ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КПД МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДОВ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ <i>Капитонов А.В., Капитонов О.А.</i>	32
ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЕЗДЕ НА ВЕЛОСИПЕДЕ <i>Колесникова Ю.А.</i>	34
СОЗДАНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА <i>Кориунов С.А., Солодовников С.Д.</i>	36
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В СИСТЕМЕ NX <i>Лустенков М.Е.</i>	38
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ В МУЛЬТИПЛИКАТОРНОМ РЕЖИМЕ <i>Лустенков М.Е., Лустенкова Е.С.</i>	41
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЛИФТА С ИНЕРЦИОННЫМ РОЛИКОМ <i>Лустенков М.Е., Метелица Я.Н.</i>	44
МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ШЛАМОВОГО НАСОСА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА <i>Саруев Л.А., Васильев М.А.</i>	46

ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ <i>Черемискина М.С., Боюн И.С., Толмачев Н.А.</i>	48
ТАКОМСКИЙ МОСТ И ВЫНУЖДЕННЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС <i>Шагиева А.С.</i>	50
СТЕРЖНЕВАЯ (ФЕРМОВАЯ) КОНСТРУКЦИЯ ДИРИЖАБЛЯ <i>Шарычев И.П.</i>	52
РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕЛЬНОПОВОРОТНОГО СТАБИЛИЗАТОРА <i>Шикотько Д.А.</i>	54
СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА	56
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМА И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ВЫХОДНЫХ ТОКОВ <i>Быстров Е.А., Сенчин И.А.</i>	57
РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО ГЕРМЕТИЧНОГО СПАИВАТЕЛЯ ПЛАСТИКОВЫХ МАГИСТРАЛЕЙ <i>Каракулов А.С. Шубин Д.С.</i>	59
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RASPBERRY PI В КАЧЕСТВЕ ПЛК НА ПРИМЕРЕ КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ТЕРМОСТАТА <i>Каракулов А.С., Федоринов В.С.</i>	61
ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА <i>Кладиев С.Н., Воронцов Д.Е., Климкин Г.А.</i>	63
ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ <i>Кротовский А.Ю.</i>	65
УЛУЧШЕННЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ <i>Леневский Г.С., Третьяков А.С., Капитонов О.А.</i>	67
ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ <i>Любимов А.В., Кладиев С.Н.</i>	69
ЦИФРОВОЙ ИНТЕГРАТОР МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ <i>Набунский И.А.</i>	71
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Однокопылов Г.И., Негодин К.Н.</i>	73
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Однокопылов Г.И., Негодин К.Н.</i>	75
СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	77
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ РАБОТЕ ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА ПРИВОДА ПРИ PLM ПРОЕКТИРОВАНИИ <i>Алфёрова Е.А., Есюнин А.И.</i>	78
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНКИ БЫСТРОСЪЕМНОЙ НА ОСНОВЕ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА <i>Алфёрова Е.А., У Хайян</i>	80

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ <i>Богданович В.И., Гиорбелидзе М.Г., Трясин С.В.</i>	82
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ДАВЛЕНИЕ ДУГИ ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ <i>Гордынец А.С., Киселев А.С., Скрипко С.И.</i>	84
ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ <i>Козлов В.Н., Даурембеков А., М. Ци</i>	86
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Козлов В.Н., Л. Хе, А. Ян, М. Ци</i>	88
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА И СИЛ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ СМП НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Козлов В.Н., Л.Хе, М.Ци</i>	90
НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ КВАДРАТНЫХ СМП НА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Козлов В.Н., А. Ян, М. Ци</i>	93
КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ОБРАТНОГО ВАЛИКА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ <i>Красиков П.П., Савино А.В., Чудин А.А., Полесский О.А., Красикова Л.С., Муругов Д.А.</i> ...	95
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗ <i>Кроткевич Д.Г., Кашкаров Е.Б., Пушилина Н.С.</i>	97
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ВТУЛОК ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ОДНОЦИКЛОВЫМ ДОРНОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ANSYS <i>Лю Ю., Лысак И.А.</i>	99
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ВЫТЯЖКОЙ В РАМКАХ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ <i>Мальшев А.Н.</i>	101
ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЯ <i>Непомнящий А.С.</i>	103
СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ С РАЗВИТЫМИ ЗОНАМИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ <i>Проскоков А.В., Губайдулина Р.Х., Петрушин С. И.</i>	105
ДЕЗИНТЕГРАТОР В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФТОРАНГИДРИТА <i>Рыбин А.С., Федорчук Ю.М., Нарыжный Д.В., Носова М.В., Минаев К.М., Пашков Е.Н.</i>	107
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС МАЛОАМПЕРНОЙ ДУГИ С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ <i>Савинов А.В., Красиков П.П., Полесский О.А., Чудин А.А., Красикова Л.С., Муругов Д.А.</i>	109
ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПЛОТНОСТЬ YAG:СЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ НА ВОЗДУХЕ <i>Ху Чжэньфэн, Пайгин В.Д., Деулина Д.Е.</i>	112

ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПЛОТНОСТЬ SE: YAG ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ НА ВОЗДУХЕ <i>Ху Чжэньфэн, Пайгин В.Д.</i>	114
КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА <i>Ци М., Даурембеков А., Ян.А, Козлов В.Н.</i>	117
ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ К МАШИННОМУ ОБУЧЕНИЮ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ <i>Юсупов Р.И., Фёдоров В.В., Черепанов Р.О., Кузьменко И.Ю., Юркина В.А., Хань Цзэли, Клименов В.А</i>	119
СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	121
СТРУКТУРА ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ <i>Абдульменова Е.В., Ваулина О.Ю., Кульков С.Н.</i>	122
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ Cr/Ta И Cr/Mo ДЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ <i>Абдульменова А.В., Кашкаров Е.Б., Сыртанов М.С., Сиделёв Д.В.</i>	125
ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ И ТЕПЛОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ <i>Аккузин С.А., Ким А.В., Литовченко И.Ю., Москвичев Е.Н.</i>	127
ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ СВС <i>Верещагин В.И., Болгару К.А., Регер А.А.</i>	129
ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ СИНТЕЗА КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ SIALON <i>Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Голобоков Н.Н., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Власов Ю.А.</i>	131
ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ МАГНЕТРОННОГО ДИОДА НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ CrN _x ПОКРЫТИЙ <i>Грудинин В.А., Рунц А.А., Блейхер Г.А.</i>	133
О ВНУТРЕННЕМ ТРЕНИИ ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ПРИ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЯХ БЕСКОНЕЧНОЙ СМЕШАННОЙ ДИСЛОКАЦИИ В РЕЛЬЕФЕ ПАЙЕРЛСА <i>Дежин В.В.</i>	135
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА АМГ5/МО, ПОЛУЧЕННОГО КОМБИНИРОВАННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВОЙ ПОДАЧИ ПРОВОЛОКИ АМг5 И ПОРОШКА Мо <i>Добровольский А.Р., Зыкова А.П., Чумаевский А.В., Воронцов А.В., Калашникова Т.А.</i>	137
ТАРИРОВКА ТЕРМОПАРЫ ИНСТРУМЕНТ-ДЕТАЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ <i>Ефимович И.А., Золотухин И.С.</i>	139
ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ NiCrBSi-СПЛАВА, НИОБИЯ И БОРА <i>Зимоглядова Т.А., Сафарова Д.Э.</i>	141

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРЫ ТЕРНИЯ СТАЛЬ/ABS ПЛАСТИК С ПОСЛЕДУЮЩИМ ПОВЕРХНОСТНЫМ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЕМ <i>Иванов А.А., Ивкина О.П.</i>	143
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ <i>Иванов А.А., Ивкина О.П.</i>	145
СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛУМИНА ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА, ОБЛУЧЕННОГО ИНТЕНСИВНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <i>Иванов Ю.Ф., Клопотов А.А., Петрикова Е.А., Тересов А.Д., Рыгина М.Е., Устинов А.М., Власов Ю.А.</i>	147
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО МЕТОДА АЗОТИРОВАНИЯ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ <i>Иванов Ю.Ф., Петрикова Е.А., Тересов А.Д., Лыков С.В., Рыгина М.Е., Клопотов А.А., Власов Ю.А.</i>	149
ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЬФА-ЖЕЛЕЗА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СОУДАРЕНИИ <i>Иванов И.В., Юргин А.Б.</i>	151
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОНТАКТНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРИ ТРЕНИИ <i>Ивкина О.П., Иванов А.А.</i>	153
ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМАЦИЮ 3D-НАПЕЧАТАННОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V ПРИ СКРЕТЧ-ТЕСТИРОВАНИИ <i>Кастеров А.М., Кузьминов Е.Д., Мартынов С.А., Шугуров А.Р.</i>	155
ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕАКТОРНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК <i>Ким А.В., Аккузин С.А., Литовченко И.Ю., Москвичев Е.Н.</i>	157
ПАРАМЕТРЫ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ Zr/Nb <i>Лаптев Р.С., Ломыгин А.</i>	159
КОМБИНИРОВАННАЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ <i>Леонов А.А., Денисова Ю.А., Денисов В.В., Савчук М.В., Тищенко В.Н.</i>	161
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ЗЕРЕННУЮ СТРУКТУРУ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181 <i>Линник В.В., Литовченко И.Ю., Полехина Н.А.</i>	163
АНИЗОТРОПНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗЫ $Ti_3(Si,Al)C_2$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ <i>Мингазова Ю.Р., Каишаров Е.Б.</i>	165
УСТАНОВКА ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ <i>Никитин Д.А., Ефимова О.В., Юрченко А.Н.</i>	167

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ <i>Николаева А.В., Зыкова А.П., Чумаевский А.В., Воронцов А.В., Калашиникова Т.А.</i>	169
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ И НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ <i>Панфилов А.О., Княжев Е.О., Зыкова А.В., Чумаевский А.В., Калашиникова Т.А., Гурьянов Д.А.</i>	171
КОРРОЗИОННЫЙ ПРИВЕС И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МНОГОСЛОЙНЫХ CrN/Cr ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВЕ Э110 ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОКИСЛЕНИИ НА ВОЗДУХЕ <i>Пирожков А.В., Ручкин С.Е.</i>	173
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОПАНТОВ <i>Платошина Е.А., Захарова Д.Д.</i>	175
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeNiMn <i>Руктуев А.А., Кузьмин Р.И., Киселева Н.А.</i>	177
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ С DLC-ПОКРЫТИЕМ В ВИДЕ СОСУДИСТЫХ ПЛАСТЫРЕЙ: ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА <i>Рунц А.А., Юрьев Ю.Н., Больбасов Е.Н.</i>	179
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СПЛАВА Э110 С ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ <i>Ручкин С.Е., Пирожков А.В.</i>	181
ЗАЩИТНЫЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ ZrO ₂ /Cr ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 <i>Ручкин С.Е., Пирожков А.В.</i>	183
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СМЕЩЕНИЯ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 40X13 ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ <i>Сиделёв Д.В., Воронина Е.Д.</i>	185
ВЛИЯНИЕ ТИПА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННЫХ КОМПОЗИТОВ Al-Sn <i>Скоренцев А.Л., Русин Н.М., Коростелева Е.Н.</i>	187
КОЛИЧЕСТВО КРАТЕРОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВЫХ СТЕКОЛ С ДВУХСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ TA-SI-AL-N ПРИ УДАРАХ ГИПЕРСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ <i>Гурсунханова Р.Б., Сергеев В.П.</i>	189
ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПЛОТНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА <i>Хабиров Р.Р., Гудыма Т.С., Масс А.В., Черкасова Н.Ю.</i>	192
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ В АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ АМГ5 И 01570 ТОЛЩИНОЙ 35 ММ <i>Черемнов А.М., Княжев Е.А., Калашиникова Т.А.</i>	194

ПЛОТНОСТЬ И СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГЕКСААЛЮМИНАТ СТРОНЦИЯ <i>Черкасова Н.Ю., Антропова К.А.</i>	196
СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ <i>Шеменков В.М., Рабыко М.А.</i>	198
ОЦЕНКА КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА SiO ₂ <i>Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Бакшанский Р.Ю.</i>	200
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА-НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ МЕХАНОСИНТЕЗА <i>Эльман Р.Р., Курдюмов Н., Кудияров В.Н.</i>	202
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ЦИРКОНИЕВЫМ СПЛАВОМ Э110 С ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ <i>Эльман Р.Р., Ломыгин А.Д., Кудияров В.Н.</i>	204
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСНЫХ СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА GAS REACTION CONTROLLER <i>Эльман Р.Р., Семенов О.В., Кудияров В.Н.</i>	206
МИКРОСТРУКТУРА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ПОСЛЕ АРГОНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ <i>Юрченко А.Н., Менлышева Н.С.</i>	208
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОКСИДОВ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА <i>Юсуфбеков С.Х., Сорокова С.Н.</i>	210
CONTACT DAMAGE RESISTANCE OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS <i>E. Willert</i>	212
СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	214
МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ <i>Авилов А.В., Авилова Н.В.</i>	215
РЕГИСТРАТОР ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ РСП-БРУ-01 <i>Болотов С.В.</i>	217
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОЛЕЗВИЙНЫМИ ФРЕЗАМИ <i>Гордеев Ю.И., Ясинский В.Б., Вакулин М.С., Филиппов С.В.</i>	219
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЗДАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ЗАДАННОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЕ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Дорофеева М.С.</i>	221
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РОБОТОТЕНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ	

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

МЕСТОРОЖДЕНИЯХ <i>Кремлёв И.А.</i>	223
РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ВИБРОГАСИТЕЛЯ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ <i>Кузнецов М.А.</i>	225
УСТАНОВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ РЕЖИМОВ ОДНО-ДВУХ- ЦИКЛОВОГО ДОРНОВАНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТОРЦЕВЫХ ДЕФЕКТОВ <i>Кулеш С.Г.</i>	228
ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА <i>Кучеров А.С.</i>	230
ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННОЙ БРОНЗЫ С ЛЕГКОПЛАВКОЙ ФАЗОЙ <i>Орлов А.А., Верлинский М.В.</i>	232
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЕМКОСТИ <i>Орлов А.А., Верлинский М.В.</i>	234
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА <i>Пак А.Я., Поваляев П.В.</i>	236
ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ <i>Петренко Ю.И.</i>	239
РАСЧЕТ ИЗГИБА ВЯЗКОУПРУГОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ <i>Светашиков А.А., Дубровский Д.Д.</i>	241
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗАНИЕМ <i>Спирин Е.А., Ясинский В.Б., Герасимов Е.В.</i>	243
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МАНЕВРЕННОСТИ ШАРНИРНО- СОЧЛЕНЕННОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ <i>Черник Д.В., Литвинова М.М.</i>	245
СЕКЦИЯ 6. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	247
МОНТАЖНАЯ ПЕНА ДЛЯ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТНОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ <i>Авзалов Д.Д., Пашков Е.Н., Штейнле А.В., Черемискина М.С., Заякаев Г.Р.</i>	248
ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ ГРУНТОМЕТА НА БАЗЕ МОТОВЕЗДЕХОДА <i>Федорченко И.С., Бакач В.А.</i>	250
УСЛОВИЯ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА <i>Галиев А.Р., Есина П.А., Кустов А.В.</i>	252
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА <i>Гуляев М.В., Гусельников М.Э., Сечин А.И., Сечин А.А., Романцов И.И., Авдеева И.И.</i>	254

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИИ АВТОМОБИЛЯ НА УСТАНОВЛЕННОМ МАРШРУТЕ <i>Гуляев М.В., Гусельников М.Э., Сечин А.И., Сечин А.А., Романцов И.И., Авдеева И.И.</i>	257
ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДОСТУПНЫМИ СРЕДСТВАМИ <i>Гусак Д.В.</i>	259
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА НА КОСМОДРОМАХ <i>Есина П.А., Галиев А.Р., Корнев В.М.</i>	261
О МЕТОДЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ <i>Завойчинская Э.Б.</i>	263
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОЧВАХ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ <i>Рыбин А.С., Носова М.В., Середина В.П., Федорчук Ю.М.</i>	265
РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО РЕШЕНИЯ ПРИ УГРОЗЕ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ <i>Романцов И.И., Сечин А.И.</i>	267
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ АЭРОВЗВЕСЕЙ НЕКОТОРЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ <i>Сечин А.И., Назаренко О.Б., Амелькович Ю.А., Сечин А.А.</i>	269
РАСЧЕТ АППАРАТА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ИЗ ВОДЫ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ <i>Сечин А.И., Пилипец Н.В., Матвеев А.П.</i>	271
СЕКЦИЯ 7. ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	273
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОГО РАДИАТОРА, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ СОСТАВНОЙ ЧАСТЬЮ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРО И РАДИОЭЛЕМЕНТОВ <i>Алфёрова Е.А., Першина М.А.</i>	274
РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА И КОНСТРУКЦИИ БИНОКЛЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ОТДЫХА И ТУРИЗМА <i>Куклина А.В.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ <i>Кухта М.А., Ильинова К.А.</i>	278
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СТАНКА WATTSAN 1290 LT DUOS <i>Кухта М.С., Котова Д.А.</i>	280
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОГАСИТЕЛЯ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЁСТКОСТЬЮ <i>Кухта М.С., Кузнецов М.А.</i>	282
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ <i>Кухта М.С., Хамидов Б.Х.</i>	284

КОНЦЕПТУАЛЬНО – КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТОКАРНОГО СТАНКА <i>Кухта М.С., Черниченко А.В.</i>	286
РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА И ЭРГНОМИКИ КОРПУСА МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА Mazak INTEGREX i-200 <i>Петренко Ю.И.</i>	288
ЭРГНОМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ФРЕЗЕРНОГО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА С ЧПУ <i>Плотер А.А., Кухта М.С.</i>	290
ФОРМИРУЮЩИЙ МОНИТОР ДЛЯ СЛЕПЫХ <i>Раисова К.А., Соколов А.П.</i>	292
ЭСТЕТИЗАЦИЯ УТИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАСТМАССЫ <i>Роксина Е.П., Соколов А.П.</i>	294
ВОПРОСЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ СВАРКЕ <i>Цыденешева Д.А., Соколов А.П.</i>	297
СЕКЦИЯ 8. НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ	299
ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ <i>Власов Ю.А., Зубрицкий А.В., Ляпина О.В., Ляпин А.Н.</i>	300
САМОДОСТАТОЧНОСТЬ, КАК КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ МАШИН <i>Власов Ю.А., Кобылянский Р.А., Ляпин А.Н., Ляпина О.В.</i>	302
ДИАГНОСТИКА ГИДРОСИСТЕМ МАШИН ПО ПАРАМЕТРАМ РАБОТАЮЩЕГО МАСЛА <i>Власов Ю.А., Ляпин А.Н., Ляпина О.В., Зубрицкий А.В.</i>	304
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Власов Ю.А., Порутчиков Б.Б., Кобылянский Р.А., Фукс В.Р.</i>	306
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕСУРСА СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ ПО УСЛОВИЮ ПРЕДЕЛЬНОГО ИЗНОСА <i>Зайцев А.В.</i>	309
КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ИЗНАШИВАНИЯ <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i>	311
К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ <i>Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В.</i>	314
УСТАНОВКА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МАСЕЛ <i>Порутчиков Б.Б., Фукс В.Р., Власов Ю.А.</i>	317
ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОТКОВЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ <i>Сиваченко Л.А., Курочкин Н.В.</i>	319
ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ	321
УДАЛЁННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ RASPBERRY PI <i>Бышненко А.В., Бердник М.В.</i>	322
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Бышненко А.В., Костевич Л.Д.</i>	324

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ СПУТНИКА ФОРМАТА CUBESAT	
<i>Бывишенко А.В., Тресков В.И.</i>	326
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
<i>Бывишенко А.В., Штауб Э.А., Чащин В.М.</i>	328
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАКЕТА СПУТНИКА ФОРМАТА CUBESAT	
<i>Костюченко Т.Г., Верхорубов Д.А.</i>	330
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ СПУТНИКА CUBESAT В T-FLEX CAD	
<i>Костюченко Т.Г., Музыкантов Д.Г.</i>	332
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРТОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАПУСКА ВОДЯНОЙ РАКЕТЫ РАКЕТЫ	
<i>Костюченко Т.Г., Ронжин М.И.</i>	334
ПРОГРАММИРОВАНИЕ МОТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА JAVASCRIPT	
<i>Костюченко Т.Г., Терехова А.С.</i>	336

СЕКЦИЯ 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

БИПЛАНЕТАРНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

*Ахмеджанов Ю.А., старший преподаватель
Ташкентский государственный технический университет, 100095, г. Ташкент, ул.
Университетская, д.2, тел. +998977744694
E-mail: yusuf1956@mail.ru*

Из всех видов механических передач бипланетарные зубчатые передачи более других снижают материалоемкость машин. Эти механизмы по сравнению зубчатыми передачами имеющими неподвижные оси вращения, обладают меньшими габаритными размерами и массой при равных передаточных отношениях. Однако задача проектирования бипланетарных передач является более трудоёмкой и объёмной по времени, чем проектирование обычных передач.

Используя компьютерную технологию можно значительно ускорить решение задач по синтезу бипланетарных передач. Эту задачу решают, рассматривая наиболее применяемые схемы бипланетарных механизмов, составленных из передач без смещения, одного модуля и включающих два и более двухвенцовых сателлита.

При кинематическом синтезе бипланетарных передач решается основная задача подбора чисел зубьев колес [1]. Они должны удовлетворять условиям:

- выполнение заданного передаточного отношения;
- правильность зацепления зубьев колес;
- соосность входного и выходного валов;
- условие соседства;
- условие сборки.

Первые три условия являются общими при синтезе любой бипланетарной зубчатой передачи. Остальные диктуются особенностями кинематических схем.

При подборе чисел зубьев бипланетарного механизма смесителя следует учитывать известные для обычных планетарных передач условия соседства и соосности, как для основного, так и для сателлитного планетарного механизма.

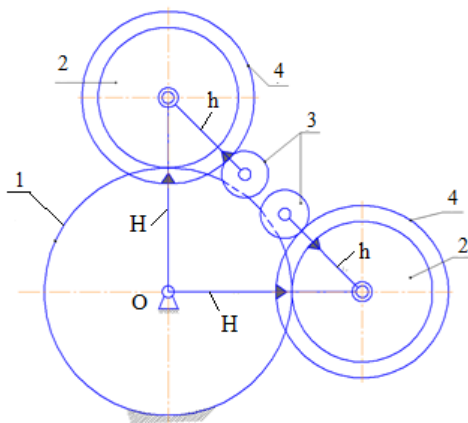


Рис.1 Кинематическая схема бипланетарного привода смесителя

На рис.1 представлена кинематическая схема предлагаемого бипланетарного привода рабочих органов смесителя. Примем, что передача имеет стандартные колеса одинакового модуля.

Для основного планетарного механизма можно записать следующее условие соседства [2]:

$$2(R_1 + R_2) \sin \frac{\pi}{K_H} \geq 2R_{a4} \quad (1)$$

где R_1 и R_2 - радиусы начальных окружностей колес 1 и 2, R_{04} - радиус окружности вершин колеса 4, K_H - число основных сателлитов.

Если выразить радиусы начальных окружностей и окружности вершин через числа зубьев колес, то получим

$$(Z_1 + Z_2) \sin \frac{\pi}{K_H} \geq (Z_4 + 2h_a^*)$$

(2)

или

$$\sin \frac{\pi}{K_H} \geq \frac{Z_4 + 2h_a^*}{Z_1 + Z_2}$$

(3) h_a^*

где h_a^* - коэффициент высоты зубьев.

Кроме этого, для того чтобы бисателлиты двух соседних основных планетарных механизмов не пересекались головками зубьев, следует:

$$2(R_1 + R_2) \sin \frac{\pi}{K_H} \geq 2(R_4 + 2R_3 + 2h_a^*) \quad (4)$$

или

$$(Z_1 + Z_2) \sin \frac{\pi}{K_H} \geq (Z_4 + 2Z_3 + 2h_a^*) \quad (5)$$

откуда

$$\sin \frac{\pi}{K_H} \geq \frac{(Z_4 + 2Z_3 + 2h_a^*)}{Z_1 + Z_2} \quad (6)$$

Условие соседства для сателлитного планетарного механизма имеет следующий вид

$$2(R_4 + R_3) \sin \frac{\pi}{K_h} \geq 2R_{a3} \quad (7)$$

где R_4, R_3 - радиус начальных окружностей колес 4 и 3,

R_{a3} - радиус окружности головок колеса 3.

Если данное соотношение выразить через числа зубьев колес 3, 4, то получим

$$\text{или} \quad (Z_4 + Z_3) \sin \frac{\pi}{K_h} \geq (Z_3 + 2h_a^*) \quad \sin \frac{\pi}{K_h} \geq \frac{Z_3 + 2h_a^*}{Z_4 + Z_3}$$

Эти соотношения позволяют полностью выполнить условия соседства бипланетарного механизма.

Список литературы:

1. Gulia N.V., Martin F. etc. New adaptive variator for automobile automatic stepless transmission and its experimental characteristics. NIT, 2002.
2. И.И. Артоболевский Теория механизмов и машин. - М.: Наука. 1975, 636 с.
3. К.В. Фролов. Теория механизмов и машин - М.: Высшая школа. 1987, 496 с.

НАДЕЖНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ (ФЕРМ)

А.А. Блинова, студент гр. 4Г02

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: aab178@tpu.ru

В настоящее время фермы применяются в строительстве преимущественно для перекрытия и покрытия больших пролетов в конструкциях мостов, кранов и других сооружений. Они могут простираться на расстояние от 40 до 150 м. Данная конструкция позволяет главным образом облегчить сооружение, позволяя применить более легкий и дешевый материал для изготовления конструктивных элементов. Сами фермы представляют собой геометрически неизменяемые стержневые системы, состоящие из большого объема треугольников, которые жестко соединены (Рис. 1). Существует множество вариантов компоновки стержней, следовательно, выделяют отдельные группы, которые допускается классифицировать по: назначению, типу, материалу исполнения и конструктивным особенностям [1]. Основными элементами являются пояса, которые же и образуют контур, и решетка, состоящая из стоек и раскосов. Сами элементы конструкций могут быть выполнены из разных сплавов металлов. Выбор сплава зависит от требуемых характеристик проектируемого сооружения, однако в основном отталкиваются от предоставленного бюджета.

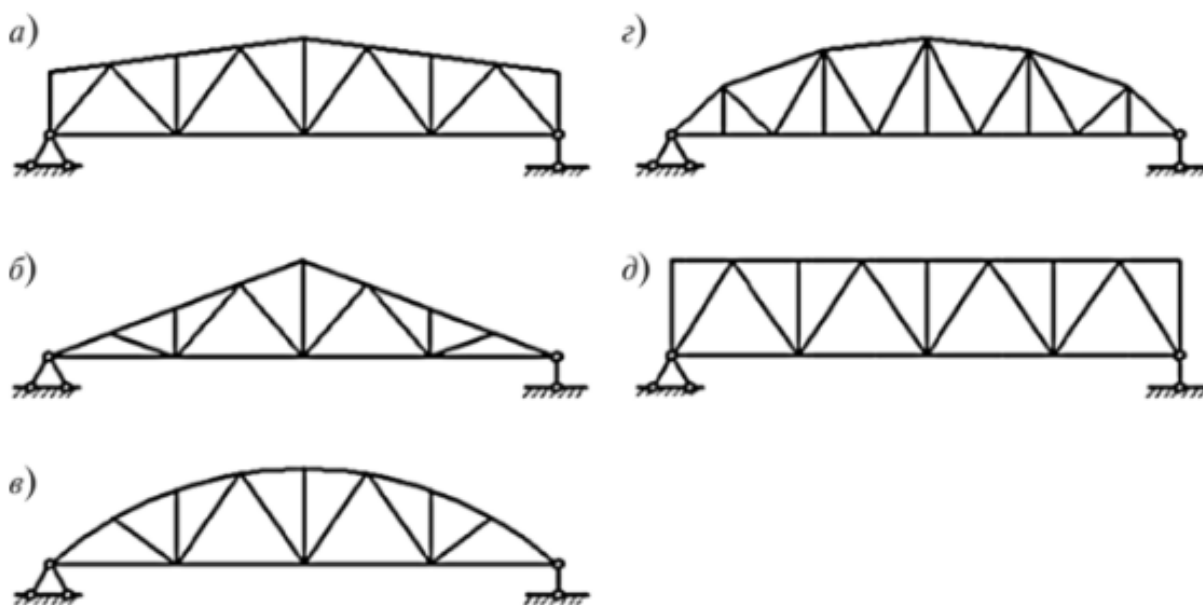


Рис.1 Классификация по очертанию поясов ферм: а - трапециевидные; б - треугольные; в - сегментные; г - полигональные; д - с параллельными поясами

Конструкции покрытий из ферм в зависимости от технических решений используемых профилей могут применяться:

- при ширине пролётов зданий, м, — 15, 18, 24, 30, 36 (иногда встречаются лёгкие фермы пролётом 42 м);
- при шаге стропильных ферм, м, — 4, 6, 12;
- в зданиях одно - и многопролётных;
- при опирании ферм на стальные или железобетонные колонны, кирпичные стены, подстропильные фермы;

- в зданиях бесфонарных, с зенитными аэрационными или светоаэрационными фонарями;
- в зданиях без перепадов или с перепадами высот пролётов;
- в зданиях бескрановых, с подвесными или мостовыми кранами;
- при водоотодах с покрытиях — неорганизованных и организованных;
- в покрытиях зданий из стального профилированного настила, цементноволокнистых или стальных волнистых листов, железобетонных плит, двух- или трехслойных панелей с эффективным утеплителем;
- в производственных зданиях — отапливаемых или неотапливаемых.

Отличительной чертой ферм отмечают неизменяемость под воздействием каких-либо внешних факторов, будь то ветровая, снеговая или другая нагрузка, а также динамические изменения. Это обусловлено их строением: три стержня, которые жестко соединены, образуют треугольник. Приходящаяся нагрузка равно распределена по всей конструкции. Она направлена в места соединения мостов, поскольку стержни намного лучше проявляют свои свойства в процессе сжатия-растяжения и это позволяет более полно, чем в сплошной балке, использовать материал. Значительно повысить эффективность стержневых конструкций ферм можно, предварительно создав в них напряжение. Стоит отметить, что мостовые фермы выдерживают предельно высокие нагрузки, а также имеют высокую жесткость конструкции и в особенности обширную область применения [2].

Преимущество в использовании данного типа конструкций заключается в том, что они могут существенно удешевить, ускорить и облегчить строительство мостов, при этом сроки эксплуатации и качество готового изделия останутся прежними. Этот факт не исключает надежность данного вида стержневых систем. Имеют высокую жесткость, выдерживают огромные нагрузки, не изменяются со временем под действием каких-либо внешних воздействий, однако это возможно при корректно выполненных расчетах, равномерное распределение нагрузки по всей площади поверхности, легкость конструкции и большие пролеты – вот в чем заключается надежность мостовых ферм. Именно благодаря своей надежности они получили настолько широкое применение в многочисленных областях строительства таких, как покрытие и перекрытие гражданских зданий, мостов, объектов связи – башни телевидения и радиовещания, грузоподъемных кранах и многих других.

Список литературы:

1. Кузин Н.Я. Проектирование и расчет ферм покрытий промышленных зданий: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 1998 – 184 с.
2. Муханов К. К. Глава VII «Фермы» // «Металлические конструкции». Учебник для вузов / Давыдов С. С.. — 3-е изд., исправ. и доп. — М.: «Стройиздат», 1978. — С. 287—339. — 572 с.

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДУ

Е. Ю. Валитова, к.п.н., доц.,

М. М. Юсупов, студент гр. 2БМ05

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: iusupovmikhail@gmail.com

Современные магистральные трубопроводы представляют собой сочленения отрезков труб стандартной длины и в собранном состоянии достигают несколько тысяч километров. Отрезки труб являются основными элементами, формирующими трубопровод. Эти отрезки режутся, свариваются и контролируются различными устройствами, объединенными одним типом движения - орбитальным перемещением вокруг оси трубы [1]. Исполнительными органами являются либо резак (например, газовый) – для операции отрезания, либо сварочная головка – для операции сваривания, либо чувствительный элемент системы неразрушающего контроля, например цифровая рентгенографическая панель, ультразвуковой детектор, камера визуального контроля и т.д.



Рис.1. Макет МОП с полезной нагрузкой (панорамный рентгеновский аппарат ICM SITE-X 320)

Для орбитального движения характерны замкнутая кольцевая траектория и постоянная направленность одной из поверхностей движущегося объекта на ось вращения [2]. На практике реализовать подобный тип движения можно несколькими способами. Первый способ - это движение несущей платформы механизма орбитального перемещения по промежуточной направляющей опоре (поясу, бандажу), неподвижно установленной на трубе. Способы фиксации опоры могут быть различными, однако все они обеспечивают эквидистантное удаление опоры от поверхности трубы по всей периферии. Платформа движется относительно трубы, прижимаясь к поясу. При этом, тяговое усилие приложено к торцу пояса или к специальным отверстиям в поясе. Во втором случае механизм орбитального перемещения опирается непосредственно на трубу. Прижатие механизма к трубе осуществляется либо каким-то конструктивным элементом, например, специальной цепью или ремнем, либо какими-то силами, например, силами магнитного сцепления. Подобные конструкции известны под названием «Магнитные колеса».

Для исследования особенностей процесса орбитального перемещения сканера кольцевых трубных швов на основе механизма с тяговой цепью и точной оценки требуемой мощности привода механизма орбитального перемещения в зависимости от величины полезной нагрузки необходимо подобрать соответствующую методику расчета [2]. Для этого следует составить расчетную схему устройства, учитывающую как можно больше сил,

действующих в системе. В дальнейшем, на основе методики можно будет проводить расчеты при конструировании механизмов орбитального перемещения на основе тяговой цепи.

Схема распределения сил в механизме орбитального перемещения в упрощенном виде представлена на рисунке 2.

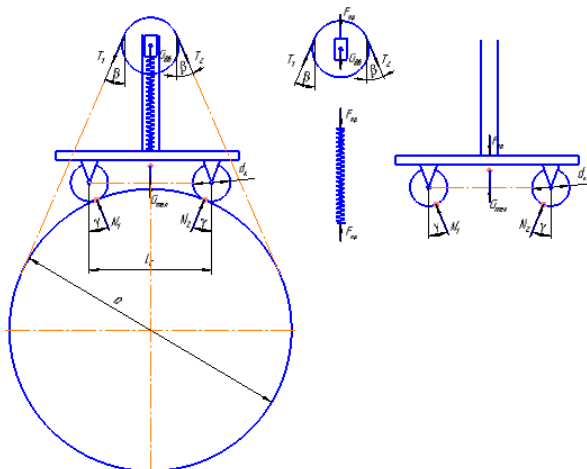


Рис. 2. Общая схема транспортной тележки (а) и ее отдельные узлы: блок натяжного устройства (б), пружина натяжного узла (в) и колесная база (г)

В данной силовой схеме учтены следующие составляющие:

T_1, T_2 – силы натяжения цепи;

$G_{\text{тел}}, G_{\text{дв}}$ – силы тяжести тележки и двигателя;

N_1, N_2 – силы реакции опор катков;

$F_{\text{пр}}$ – сила упругости пружины.

Для упрощения расчетов принимаем цепи нерастяжимыми. В этом случае величина деформации пружины не меняется и, соответственно, сила упругости пружины тоже постоянная $F_{\text{пр}} = \text{const}$.

По результатам расчетов упрощенной модели для определения усилий и нагрузок на элементы привода механизма орбитального перемещения, можно перейти к разработке реальной модели без учета упрощений приведенных в работе.

Список литературы:

1. Ермолов И.Л., Мор Ф.Р., Подураев Ю.В., Шведов В.В. Мобильные роботы для инспекции и ремонта надземных трубопроводов: современное состояние и перспективы развития. Мехатроника. – М.: Высшая школа, 2000.
2. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Митяев А.Е. Геометрические параметры исполнительных устройств приводов технологического оборудования на базе механизмов с замкнутой системой тел качения: учебник для вузов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – 114 с.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ РАДИАЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Д.В. Дога, студент гр. 4Г02

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: dvd22@tpu.ru

В авиастроении ортодоксальной является тенденция предельного снижения веса конструкции, поэтому основное требование, предъявляемое к авиадвигателям – минимальная масса, сочетающаяся с максимальной эффективностью. На сегодняшний день этому требованию наиболее полно отвечает радиальный (звездообразный) поршневой двигатель внутреннего сгорания, в котором цилиндры расположены радиальными лучами вокруг коленчатого вала через равные углы. Такая конструкция позволяет наиболее компактно разместить большое количество цилиндров. Принципиальное отличие от других типов ДВС заключается в строении кривошипно-шатунного механизма (КШМ). Один шатун является главным, а остальные крепятся к его нижней головке по всей периферии. Остальные структурно-функциональные компоненты (картер, поршни, цилиндры, редуктор, нагнетатель, механизм газораспределения, рабочее магнето и карбюратор) не отличаются от поршневых двигателей других типов [1].

После подачи горючей смеси в цилиндры и поджигания электрической искрой смесь сгорает в цилиндрах двигателя с выделением большого объёма газов. Газы толкают поршни, которые посредством шатунов передают работу расширяющегося газа на коленчатый вал. КШМ преобразует возвратно-поступательное движение поршней во вращательное [2]. Для развития больших мощностей число оборотов носка коленчатого вала современного радиального двигателя может достигать 2500-3000 об/мин, однако наибольшая эффективность достигается при частоте 1600-1800 об/мин. Для понижения частоты в схеме авиационного двигателя присутствует планетарный редуктор. Мощность двигателя напрямую зависит от количества сгораемой топливно-воздушной смеси. Чтобы сжечь больше топлива, необходимо подать больше воздуха. С целью увеличения подачи воздуха в цилиндры на двигатель устанавливают нагнетатель, увеличивающий давление воздуха (в случае современных нагнетателей, в 2-3 раза по отношению к окружающему давлению). Во время работы двигателя необходимо подводить в цилиндры воздух и удалять из них отработавший газ. Для этой цели в двигателях предусмотрен механизм газораспределения, состоящий из клапанов впуска и выпуска, кулачковых шайб, клапанных рычагов, тяг и толкателей с роликами. Коленчатый вал сообщает кулачковой шайбе момент импульса, шайба посредством кулачков передаёт момент импульса ролику, который преобразует вращательное движение в поступательное и сообщает его толкателю. Толкатель через тягу приводит в движение клапанный рычаг, открывающий клапан [3].

Среди агрегатов радиального двигателя выделяют карбюратор, масляный насос и рабочее магнето. Карбюратор необходим до приготовления горючей смеси перед её подачей в цилиндры. Основными элементами карбюратора являются смесительная, воздушная и топливная камеры. Топливо подаётся из топливной камеры в смесительную, где распыляется и смешивается в строгих пропорциях с воздухом. Патрубок карбюратора снабжён заслонкой, позволяющей регулировать поступление воздуха в цилиндры. Крайнее открытое положение заслонки соответствует наиболее интенсивной подаче воздуха и наибольшей мощности двигателя. Топливо подаётся в карбюратор бензиновым насосом. Трущиеся детали нуждаются в постоянной смазке. Смазочное масло подаётся нагнетающим масляным насосом, откачка масла из картера в масляный бак производится откачивающим масляным насосом. Как правило, масляные насосы объединяют в один агрегат, который у звездообразных двигателей располагается на задней крышке. Воспламенение горючей смеси

в цилиндрах производится электрической искрой, которая генерируется и распределяется между цилиндрами рабочим магнето [1].

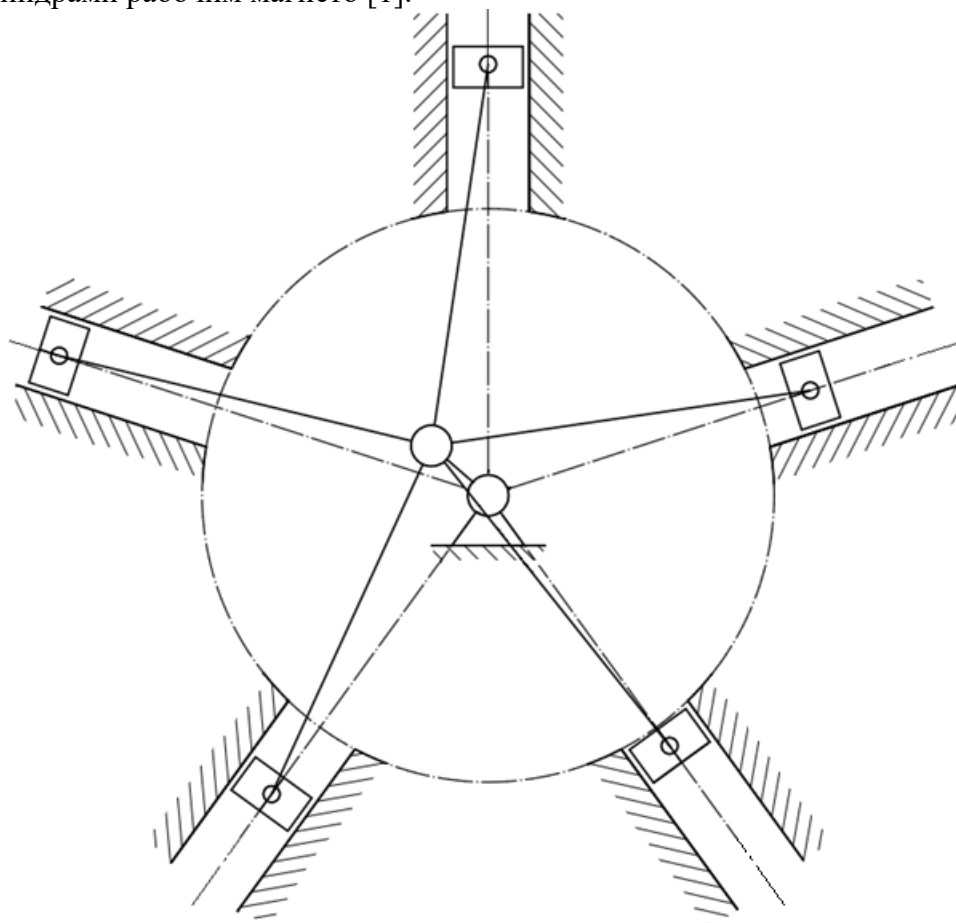


Рис. 1. Кинематическая схема КШМ радиального двигателя

Список литературы

1. Чайнов Н. С., Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник для вузов. – М.: «Машиностроение», 2008. – 495 с.
2. Шипиль В. Я., Поршневые авиадвигатели. Уравновешивание авиадвигателей : учебное пособие. – Киев: Киевский институт инженеров гражданской авиации, 1971. – 59 с.
3. Конкс Г. А., Лашко В. А. Современные подходы к конструированию поршневых двигателей : учебное пособие. – М.: «Моркнига», 2000. – 388 с.
4. Моисеенко, Константин Александрович. Модернизация маслосистемы насосных агрегатов на кустовой насосной станции = Modernization of the oil system of pump units at a bush pump station / К. А. Моисеенко, М. С. Черемискина // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», Екатеринбург, 4-5 Апреля 2019: . — Екатеринбург : Изд-во УГГУ , 2019 . — [С. 242-244] .

ОБЗОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЗВЕНЬЕВ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Е.А. Ефременков, к.т.н., доцент ОмШ

Ф.Д. Завьялов, студент гр. 4АМОК,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: fdz1@tpu.ru

В настоящее время известно довольно много различных видов цевочных передач и передач с промежуточными телами качения (ПТК). Мировыми лидерами в производстве цевочных передач являются компании SUMITOMO (США), CYCLO Getriebebau (Австрия), Nabtesco Corporation (Япония). Передачи с ПТК производят в основном в России и Белоруссии. Передачи с ПТК обладают рядом высоких технических характеристик, таких как: большое передаточное число одной ступени (до 60), малая инерционность звеньев, большая нагрузочная способность, невосприимчивость к кратковременным перегрузкам, высокий КПД (до 0,97), соосное вращение входного и выходного валов и т.д.

С целью расширения области использования передач с ПТК необходимо более детально проводить расчеты ее звеньев на прочность. Силовые звенья в передаче с ПТК подвергаются деформациям в основном от контактных нагрузок [1], поэтому изучение методик определения деформаций в зацеплении передач с ПТК позволит более точно определять напряжения, действующие на силовые звенья передачи.

Рассмотрим передачу с ПТК, широко выпускаемую предприятиями г. Томска (рис 1). Согласно источнику [2] эта передача работает следующим образом: при сообщении движения кулачку 4, промежуточные тела 2, перекачиваясь по профилям зубьев неподвижного центрального колеса 1, передают движения сепаратору 3, связанному с выходным валом.

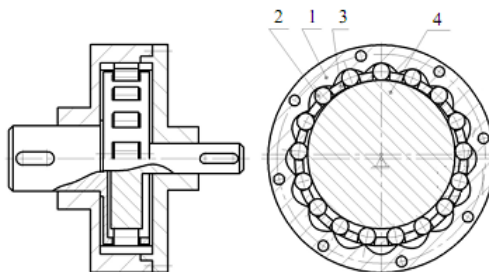


Рис. 1. Передача с ПТК: 1 – профильный венец, 2 – тела качения, 3 – сепаратор, 4 – кулачок.

При определении контактных напряжений в этой передаче, сложный контакт тела качения разбивается на отдельные и рассматривается самостоятельно: тело качения с кулачком; тело качения с профилем циклоидального колеса; тело качения с сепаратором (рис. 2).

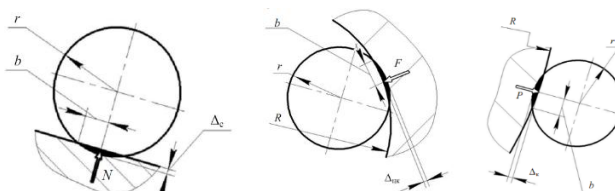


Рис. 2. Схема касания промежуточного тела с: а) сепаратором; б) циклоидальным колесом; в) кулачком.

Для каждого случая контакта определяется полуширина площадки контакта, а потом можно определить деформацию в месте контакта [2].

Рассмотрим зацепление передачи с ПТК и свободной обоймой (рис. 3). Но здесь площадки контакта и деформации подобны для контактов тела качения – кулачок и тела

качения – венец, т.к. для обоих зацеплений контакт происходит между цилиндром и циклоидальным профилем.

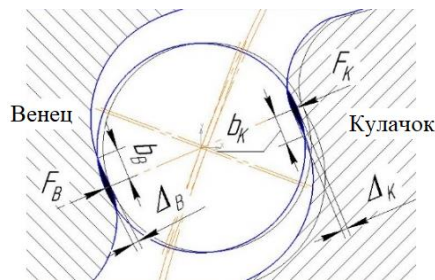


Рис. 3. Деформация циклоидальных профилей при повороте входного звена

Поэтому полуширина площадки контакта определяется одним выражением ($E_1=E_2=E$ и $\mu_1=\mu_2=0,3$):

$$b = 1,522 \sqrt{\frac{F}{lE} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 \pm R_2}}, \quad (1)$$

где F – сила [3], l – длина тела качения, R_1 – радиус кривизны профиля, R_2 – радиус тела качения [4], E – модуль Юнга.

Деформации определяются следующим образом [5]:

для выпукло-вогнутого контакта

$$\Delta_{\text{вог}} = 1,82 \frac{F}{lE} (1 - \ln b); \quad (2)$$

для выпукло-выпуклого контакта

$$\Delta_{\text{вып}} = 0,5796 \frac{F}{lE} \left(\ln \frac{4 \cdot R_1 \cdot R_2}{b^2} + 0,814 \right). \quad (3)$$

Таким образом, в настоящее время деформации определяются через полуширину площадки контакта тела качения с циклоидальным профилем.

Список литературы

1. Efremenkov E.A., Efremenkova S.K., Dyussebayev I.M. Determination of Geometric Parameter of Cycloidal Transmission from Contact Strength Condition for Design of Heavy Loading Mechanisms // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 795 (2020) 012024 – 6 p.
2. Беляев Д.В. Определения усилий в передачах зацепления промежуточных тел // Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств: Труды XVI Междунар. научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск, 2010. – Т. 1. – С. 301–302.
3. Ефременков Е.А. Определение усилий в передаче с промежуточными телами качения и свободной обоймой // Сборник трудов VI межотраслевой научно-технической конференции «Автоматизация и прогрессивные технологии в атомной отрасли». НГТИ, Том I, Новоуральск 2009. – С. 123 - 126
4. Ефременков Е.А., Ан. И-Кан Определение радиусов кривизны циклоидальных профилей с использованием метода Эйлера-Савари // Вестник машиностроения. - 2010. - № 10. - С. 47-50.
5. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Издательство Дельта, 2008. – 816 с.

АНАЛИЗ РАБОТЫ СТАНКА КАЧАЛКИ С КРИВОШИПНО КУЛИСНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРИВОДА

С.А. Зеремская, студент гр. 2101

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: saz16@tpu.ru

Развитие станка-качалки можно проследить от доиндустриального периода в России, когда для добычи нефти применялся деревянный «нефтяной ковш». После окончания русско-турецкой войны появился первый нефтяной станок-колодец, который активно применялся на Таманском полуострове. В 19 веке появился новый способ добычи нефти – тартания. Однако данный процесс имел несколько недостатков: низкий КПД, невозможность полной герметизации, небезопасные условия труда. И только в 20 веке после окончания Гражданской войны появились станки-качалки для добычи нефти [1]. Сегодня станок-качалка (СК) является важным оборудованием для добычи нефти, которое очень часто ассоциируется с двумя станками: буровой вышки и станка-качалки (рис.1). СК является приводом штангового насоса, и включает в себя электродвигатель и редуктор, которые приводят станок в движение. СК устанавливается на специальный фундамент (чаще бетонный). Здесь же устанавливается платформа и стойка со станцией управления где находится кабина оператора. Действие станка можно сравнить с действие ручного насоса, тк благодаря возвратно-поступательным движениям происходит добыча нефти, поступающая на поверхность через насосно-компрессорные трубы (НКТ). СК уже долго время используются в нефтяной отрасли, и они хорошо себя зарекомендовали [2].

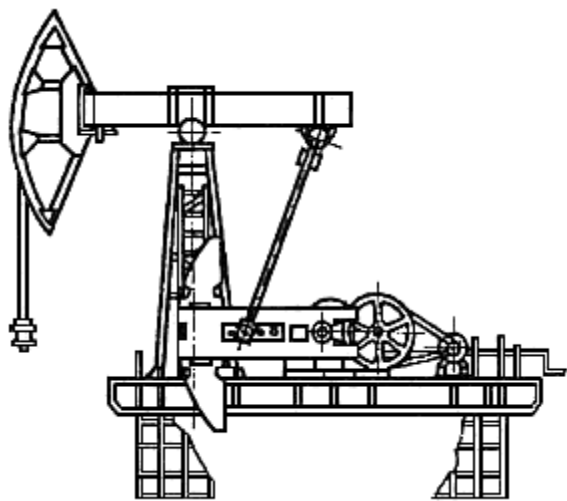


Рис. 1 Схема станка качалки [3]

Кривошипно-шатунные и кулисные механизмы используются для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и для его передачи штанговому насосу, расположенного на дне скважины. Кривошипно-шатунный механизм состоит из подвижных (поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, шатуны, коленчатый вал, маховик) и неподвижных (блок цилиндров, головки цилиндров, гильзы, вкладыши, крышки коренных подшипников) частей. Длина кривошипа влияет на ход ползуна. Часто вместо кривошипного вала применяют коленчатый вал.

В кулисных механизмах (рис. 2) вместо ползуна (шатуна) применяется кулиса, в которой делается прорез поперек движения кулисы и в нее вставляется палец кривошипа. При вращении вала происходит движение кривошипа, который водит и кулису [4]. Кулисные механизмы бывают трех видов: прямые, качающиеся и вращающиеся.



Рис. 2 Кулисный механизм [5]

Кривошипно-кулисный станок-качалка (рис.3) был изобретен Банаевым С.Ш. и Бангаевой З.С. (подача заявки на патент 26.03.2013г.). Данное устройство включает в себя электродвигатель, редуктор и кривошипно-кулисный механизм с поворачивающейся кулисой.

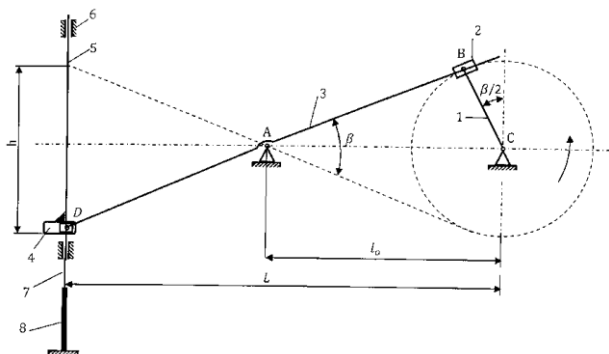


Рис.3 Кинематическая схема кривошипно-кулисного механизма (1- кривошип, 2 – кулисный камень, 3- кулиса, 4 – плавающий ползун, 5 – направляющая) [6]

На рисунке 3 видно, что одним концом кулиса закреплена в кулисном камне, а другим концом присоединена к плавающему ползуну. Вращательное движение осуществляется вокруг опоры А под воздействием вращающего СК кривошипа и тем самым происходит движение плавающего ползуна по направляющей, которая расположена в вертикальном положении. Направляющие прикреплены к плавающему ползуну полированными штоком.

Положительными характеристиками СК с кривошипно-кулисным механизмом привода являются отсутствие балансира, головки балансира, канатной подвески, а также закрепление заднего конца кулисы в кулисном камне.

Более того из-за уменьшения ускорения движения точки подвеса штанг и плунжера происходит уменьшение динамических и вибрационных нагрузок на узлы установки. Увеличивается надежность использования СК, облегчается его обслуживание и снижается металлоемкость. И что немаловажно появляется возможность использования данного оборудования как на шельфе, так и на море [6].

Как видно из вышеизложенного СК имеют широкое применение в нефтяной отрасли. Также мы можем предположить, что наличие положительных характеристик СК с кривошипно-кулисным механизмом привода приведёт к их более широкому применению и скорее всего данное оборудование будет только совершенствоваться.

Список литературы:

1. Калошина Е.С. Повышение износостойкости опор траверсы станка-качалки: бакалаврская работа/ Калошина Е.С. – Красноярск, 2017. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/157720087.pdf> (дата обращения: 18.09.2021). – Текст : электронный.
2. Основные типы балансирных станков-качалок. – URL: <http://www.drillings.ru/stanki-kachalki> (дата обращения: 18.09.2021). – Текст : электронный.
3. Кривошипно-шатунные механизмы – URL: https://studbooks.net/2510356/tovarovedenie/krivoshipno_shatunnye_mehanizmy (дата обращения: 18.09.2021). – Текст : электронный.

РАЗРАБОТКА БЕЗБАЛАНСИРНОГО СТАНКА-КАЧАЛКА

Г.Р. Зиякаев, к.т.н., доц.,

Е.О. Куклин, студент гр. 2БМ05

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: eok8@tpu.ru

Штанговые скважинные насосные установки продолжают играть значимую роль в добыче нефти как в России, так и за рубежом. В связи с тем, что дебит скважин постепенно падает, для эффективной работы станка-качалки необходимо снижать число ходов точки подвеса штанг. Привод на основе асинхронного электродвигателя становится малоэффективным из-за невозможности регулирования частоты вращения. Также ШСНУ имеет большие габариты и значительный вес, что увеличивает ее металлоемкость.

На базе нашего университета разрабатывается конструкция безбалансирного станка-качалки, обладающего меньшими габаритами и малым весом, на основе привода с вентильным электродвигателем и реечной передачей. По сравнению с асинхронным двигателем у вентильного двигателя имеются такие преимущества как: широкий диапазон изменения частот вращения, высокие энергетические показатели, высокий срок службы и высокая надежность.

Введение. По видам преобразующих механизмов механические приводы делятся на две группы: балансирные (рисунок 1, а) и безбалансирные (рисунок 2, б). В первых возвратно-поступательное движение точки подвеса штанг достигается использованием качающегося рычага – балансира, который соединяется с выходным валом трансмиссии посредством кривошипно-шатунного механизма. В безбалансирных приводах возвратно-поступательное движение точки подвеса штанг обеспечивается за счет использования механизмов с гибкими элементами (канаты или цепи).

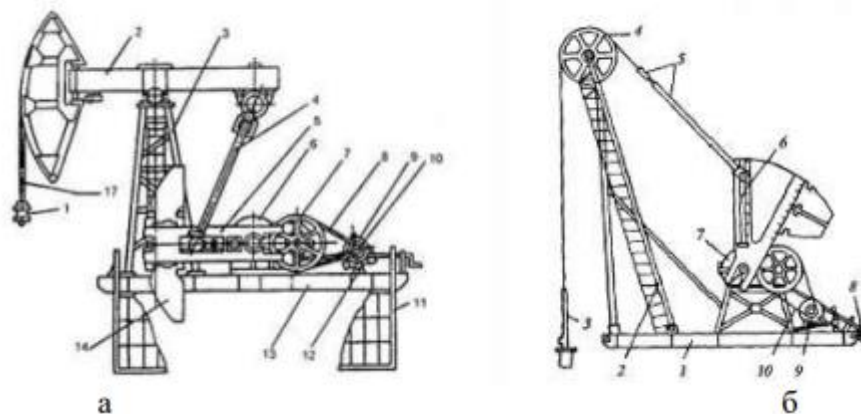


Рис.1. Станок-качалка

а – балансирный; б – безбалансирный

Преимущества безбалансирного станка-качалка:

- Меньшие металлоемкость и габариты;
- Лучшая характеристика движения точки подвеса штанг.

Целью работы является создание конструкции безбалансирного станка-качалки с линейным приводом. Для достижения поставленной цели на базе нашего университета разрабатывается вентильный электродвигатель, планетарный редуктор и конструкция привода линейного перемещения.

Основание привода 5 закреплено на устьевом оборудовании 4. Мотор-редуктор 1 преобразовывает вращательное движение шестерни в возвратно-поступательное движение рейки. Рейка связана с штоком 3, который соединен с колонной штанг.

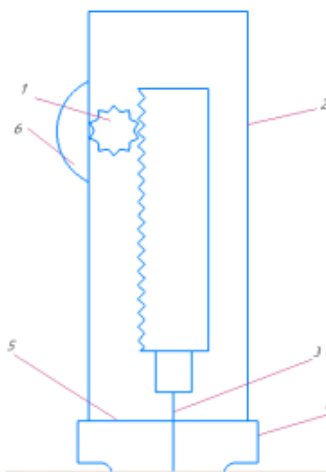


Рис.2. Схема линейного привода
1-реечная передача, 2- корпус передачи, 3 – направляющая штока, 4 – устьевое оборудование, основание привода, 6 – двигатель

Таблица 1 – Параметры разрабатываемого линейного привода

№ п/п	Технические характеристики	Ед. изм.	Значение
1	Максимальная нагрузка на шток	кН	
2	Максимальная длина хода	мм	
3	Число двойных ходов в минуту		до 6
4	Исполнение двигателя	взрывозащищенное	
5	Станция управления	ПЧ с программируемым контроллером	

Разрабатываемый безбалансирный станок-качалка, по нашим прогнозам, является перспективным для применения на малодебитных скважинах. Конструкция обладает меньшими габаритами и весом, не требует установки на специальных фундаментах, проста в обслуживании, в ремонте и транспортировке. Эффективная работа безбалансирного 101 станка- качалка для добычи нефти на малодебитных скважинах будет достигнута путем уменьшения числа двойных ходов в минуту за счет использования привода на основе вентильного двигателя с реечной передачей.

Список литературы:

1. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров. А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Скважинные насосные установки для добычи нефти – М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002 – 824 с.: ил. ISBN 5-7246-0206-7.
2. Ивановский В.Н. и др. Оборудование для добычи нефти и газа. Ч.1. – М.: Нефть и газ, 2002. – 768 с.
3. Аливердизаде К.С. Приводы штангового глубинного насоса. – М.: Недра, 1973. – 196 с.
4. Чичеров Л.Г. Нефтепромысловые машины и механизмы. – М.: Недра, 1984. – 308 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ ПЛАНЕТАРНОЙ МОНОМЕЛЬНИЦЫ

М.А. Ильичева, студент гр. 4Г01

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777*

E-mail: mai16@tpu.ru

Оксинитрид алюминий (AlON) является твердым раствором в псевдо-бинарной системе $Al_2O_3 - AlN$. Состав AlON согласуется с формулой $Al(64+x)/3 \square (8-x)/3 O_{32-x} N_x$, где состав с $x=5$ является единственной устойчивой фазой в области γ -AlON. Таким образом, его стехиометрическая формула – $Al_{23}O_{27}N_5$ [1]. Из-за превосходной оптической прозрачности, прочности и твердости, оптическая керамика AlON находит перспективу для применения во многих областях гражданской и военной техники. В гражданских областях AlON применяется как керамика, прозрачная для инфракрасного излучения в области волны миллиметрового диапазона, для окон сканеров [2]. Изготавливают прозрачный AlON различными методами: реакционное спекание, горячее прессование и метод СВС. Среди них, наиболее распространенным способом является реакция спекания AlN и Al_2O_3 при высокой температуре.

Снижение температуры спекания, возможно с помощью введения оксидных добавок, которые берутся 0,6% (по массе). Столь малое количество добавок равномерно распределить по массе оксинитрида алюминия представляется возможным с применением мельницы. Для малых объемов рациональнее использовать планетарные (центробежные) лабораторные мельницы. На рынке товаров представлено большое разнообразие центробежных мельниц, отличающихся размером и количеством рабочих барабанов. В качестве примера рассмотрим планетарную мономельницу Fritsch PULVERISETTE 6. У неё есть основной недостаток - неустойчивость в пространственном положении. В мельницах с несколькими местами для размольных барабанов данная проблема менее выражена, так как при одинаковой загрузке размольных барабанов создаётся баланс, компенсирующий центробежные силы. В мономельнице же для уравнивания системы используется противовес, что провоцирует неустойчивость мельницы. Неустойчивость связана с тем, что при работе создаётся вибрация. Она возникает вследствие отсутствия точного равновесия между барабаном и противовесом (механизмом компенсации), так как выставить балансир с абсолютной точностью невозможно. Это делает центробежные силы нескомпенсированными.

Для решения обозначенной проблемы предложены следующие варианты:

1. Подготовка рабочего места для установки мельницы — заливка платформы с нулевым уровнем.
2. Работа со шпинделем (деталь 2 на рис.1) — замена на шпиндель с более мелким шагом трапецеидальной резьбы для обеспечения плавности хода регулировки механизма компенсации.

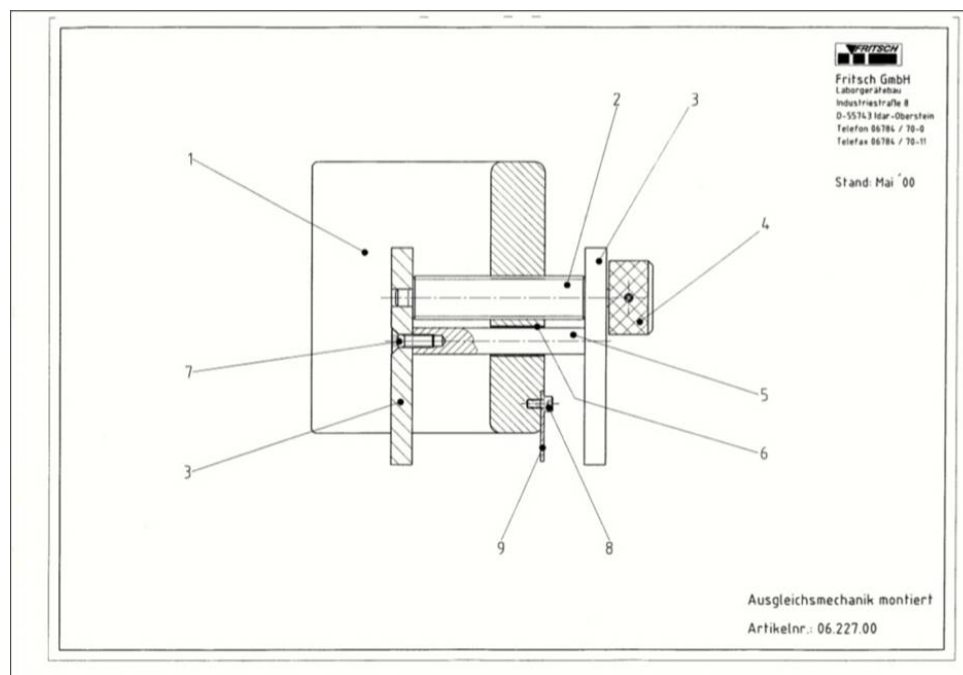


Рис. 1. Схема механизма компенсации мельницы Fritsch PULVERISETTE 6

Список литературы:

1. McCauley J. W. and Corbin N. D., Phase relations and reaction sintering of transparent cubic aluminum oxynitride spinel (ALON). J. Am. Ceram. Soc., 62, 476–479. 1979.
2. Feng Chen, Fang Zhang*, Jun Wang, Hailong Zhang, Run Tian, Zhao Zhang, Shiwei Wang. Hot isostatic pressing of transparent AlON ceramics with Y2O3/La2O3 additives. Journal of Alloys and Compounds. 650. 753 – 757. 2015.
3. Технологические особенности получения оксинитрида алюминия / Е. В. Тырышкина [и др.] // Современные технологии и материалы новых поколений : сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 336-337].
4. Черемискина, Мария Сергеевна. Тенденции развития отечественного подшипникоостроения = Trends in the development of Russian bearing production / М. С. Черемискина, К. А. Моисеенко // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2020 сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 24-25 ноября 2020 г.: . — Кемерово : Изд-во КузГТУ , 2020 . — [С. 803.1-803.4]

**ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КПД
МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДОВ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ**

*А.В. Капитонов, к.т.н., доц.,
О.А. Капитонов, ст. преподаватель
Белорусско-Российский университет,
Республика Беларусь, 212 000, г. Могилев, пр. Мира, 43.,
тел (+375222)-230-007
E-mail: kavbru@gmail.com*

Зубчатые передачи и построенные на их основе приводы имеют высокий КПД, зависящий от точности изготовления. Кинематическая точность передач с телами качения, также, как и зубчатых колес, определяет многие эксплуатационные характеристики механизмов. В настоящее время еще мало проведено исследований, устанавливающих зависимости между кинематическими погрешностями и КПД приводов передач с телами качения.

Получены результаты исследований влияния кинематических погрешностей на КПД малогабаритных механизмов приводов с телами качения. Рассмотрена конструкция планетарной радиально-плунжерной передачи. Создана динамическая модель механизма. Выведены уравнения угловых скоростей и перемещений с учетом моментов инерции звеньев. Получена формула и выполнен расчет КПД, включающий расчет погрешности угла поворота выходного вала передачи. Построены графики зависимостей КПД от кинематической погрешности для разных передаточных отношений и частот вращений механизма. Установлено, что кинематическая погрешность может оказывать существенное влияние на изменение КПД при небольших передаточных отношениях и больших частотах вращения ведущего звена. При этом возникает момент сил инерции звеньев механизма, который имеет функциональную зависимость от кинематической погрешности.

На рис. 1 показана конструкция планетарной радиально-плунжерной передачи.

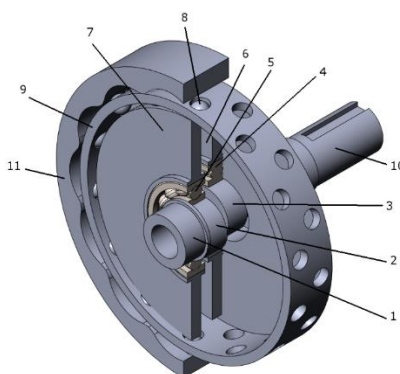


Рис. 1. Планетарная радиально-плунжерная передача

Планетарная передача состоит из ведущего звена 1-7 (см. рис. 1), сателлитов 8, ведомого звена 9, 10 и неподвижного звена 11. Цилиндрические поверхности дисков 6 и 7 ведущего звена, контактирующие с сателлитами 8, являются ведущими беговыми дорожками. Внутренняя волнообразная поверхность кольца 11 неподвижного звена, также контактирующая с сателлитами 8 является многопериодной беговой дорожкой. Ведущее звено имеет два эксцентрика 2 и 3, установленных оппозитно для устранения дисбаланса. Сепаратор 9 ведомого звена имеет отверстия для сателлитов, которые передают вращение от ведущего вала на ведомый вал. В качестве сателлитов могут быть шарики или ролики. Передаточное отношение передачи равно количеству сателлитов в одном ряду и

используется в данных конструкциях в пределах от 4 до 25 в одной ступени. Большое передаточное отношение в одной ступени увеличивает габариты механизма. Построенные на основе этих передач редукторы могут быть одноступенчатыми, двухступенчатыми, трех- и четырех ступенчатыми. При этом передаточные отношения редукторов могут достигать 10 000 и более при относительно небольших габаритах и массе.

В результате проведенных исследований получены графики зависимости КПД от кинематической погрешности планетарной радиально-плунжерной передачи, представленные на рис. 2. Графики 1, 2, 4 получены при частоте вращения ведущего звена равной 3000 оборотов в минуту и передаточном отношении 4, 7, 10 соответственно. Графики 3 и 5 получены при частоте вращения ведущего звена равной 1500 оборотов в минуту и передаточном отношении 4, 7 соответственно. Расчетная мощность 500 Вт. Кинематическая погрешность на графиках задана в угловых единицах измерения от нуля до двух градусов.

Из графиков видно, что КПД передачи значительно изменяется за оборот ведомого звена при передаточном отношении равном 4 и частоте вращения ведущего звена равном 3000 оборотов в минуту. Для других условий КПД изменяется в меньшей степени. Наибольшее изменение КПД за оборот выходного звена составило 4,4%. При этом среднее значение КПД передачи при наличии кинематических погрешностей также будет меньше номинального. КПД исследуемой передачи также зависит от передаточного отношения, частоты вращения ведущего звена и передаваемой мощности.

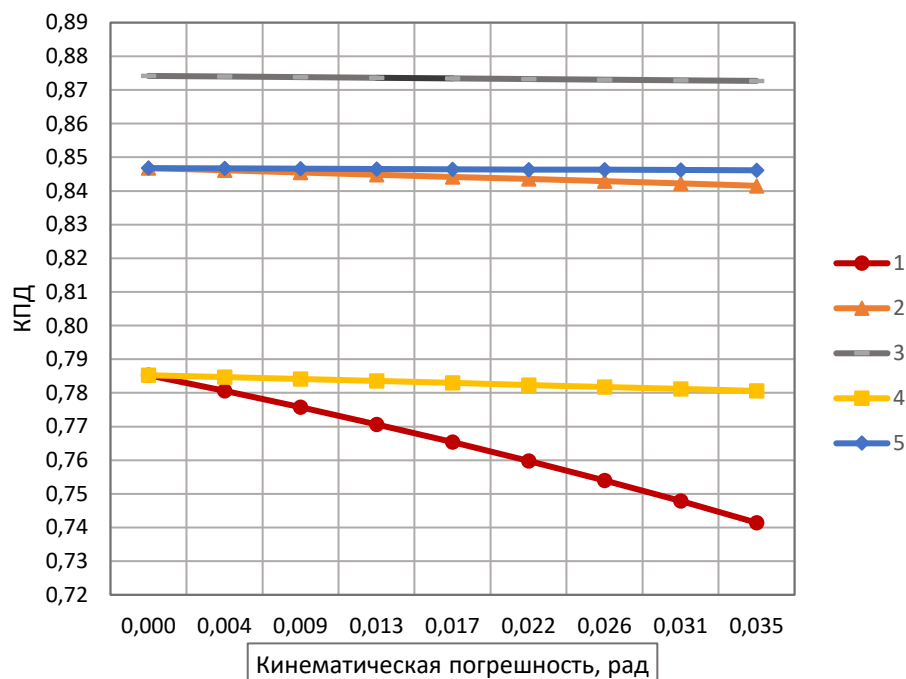


Рис. 2. Графики зависимости КПД от кинематической погрешности планетарной радиально-плунжерной передачи

ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЕЗДЕ НА ВЕЛОСИПЕДЕ

Ю.А. Колесникова, студентка гр. 4Д01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: yak35@tpu.ru

Природа гироскопического эффекта была описана ещё в 1851 году Леоном Фуко, который продемонстрировал суточное вращение Земли с помощью маятника. Позднее маятник Фуко был назван гироскопом.

В настоящее время гироскопический эффект применяется во многих отраслях человеческой деятельности, таких как: авиация, мореплавание, горное дело, спорт и др.

Наиболее простой пример гироскопического эффекта наблюдается при езде на велосипеде. При его повороте человек интуитивно отклоняется от вертикальной оси в сторону поворота, тем самым совершая поворот вокруг некой оси (назовём её CC'), являющейся касательной к окружностям колёс. При этом сами колёса также поворачиваются вокруг этой оси с некоторой угловой скоростью Ω . Тем не менее одновременно с этим колёса продолжают своё вращение вокруг собственных осей, перпендикулярных CC' , с некоторой угловой скоростью ω . Соответственно гироскопические моменты возникают согласно равенству:

$$M_z = J\omega\Omega \quad (1)$$

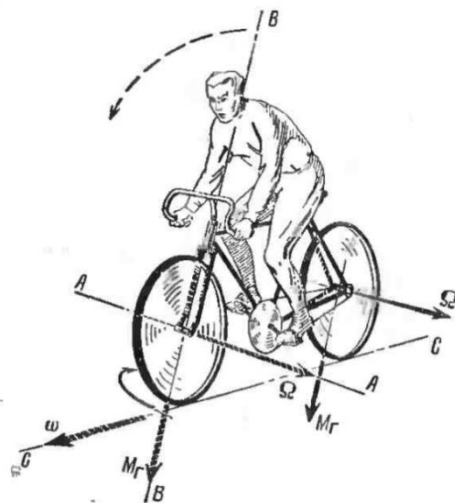
Их величины зависят от момента инерции колеса относительно оси, проходящей через его центр (назовём её AA'), и угловых скоростей Ω и ω . Данная формула позволяет вычислить значение момента гироскопической реакции для любой детали, имеющей форму диска и вращающейся одновременно вокруг двух осей. Гироскопический момент, порождаемый инерцией массы заднего колеса, имеющего только одну степень свободы по отношению к раме велосипеда, будет погашен в жёстко закреплённых подшипниках, но поведение переднего колеса, имеющего по отношению к раме свободу вращения в рулевой колонке вокруг оси (назовём её BB') будет иным. Его масса, сопротивляясь изменению положения в пространстве оси своего вращения AA' , начнёт совершать поворот вокруг оси BB' , совпадающей по направлению с действием гироскопического момента M_r , то есть именно в том направлении, которое было необходимо для выполнения поворота.

Вследствие того, что эффект усиливается с увеличением массы колеса, так как именно масса обладает инертностью - другими словами именно масса обладает неизменностью состояния своего движения, независимо от того, находится она в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения - более значительную роль в управлении гироскопический эффект играет для мотоциклистов.

Наиболее ощутимо данный эффект проявляется при езде «без рук». Опыты, на основании которых делались выводы о влиянии гироскопического эффекта на устойчивость, проводились именно с «неуправляемым» велосипедом.

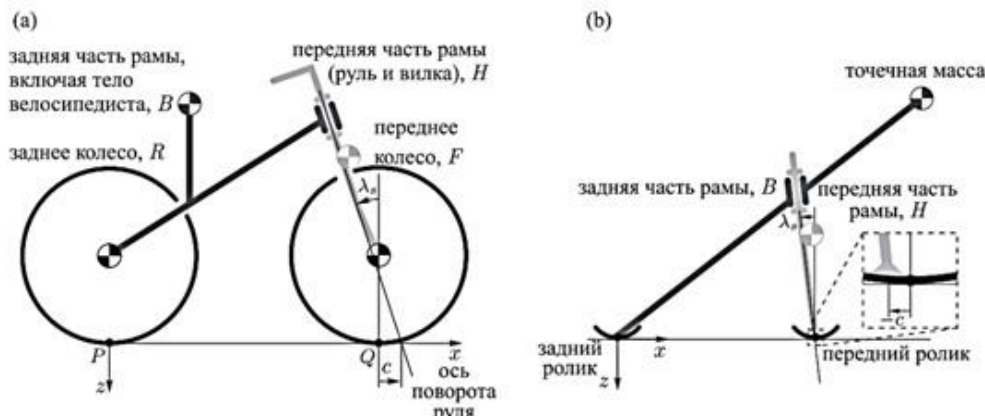
«... в отсутствие гироскопического действия диапазон скоростей полной устойчивости обращается в нуль» указано в главе о велосипеде четвертого тома трактата о гироскопе Клейна и Зоммерфельда [1].

Однако последние исследования утверждают, что гироскопический эффект не оказывает значительного стабилизирующего действия на систему человек-велосипед (моменты инерции и скорости недостаточно велики).



В своём труде о неуравновешенном велосипеде [2] Джоунс сделал вывод о том, что гироскопический эффект, обсуждаемый в [1], никак не связан с наклоном и управляемостью. Так же он подчеркнул важность расположения точки контакта переднего колеса с землей позади поворотной оси.

Джоунс рассуждает о том, что устойчивость неуравновешенного велосипеда зависит от положительного выноса.



Сторонники обеих теорий задумались, могут ли гироскопический вклад и положительный вынос быть равноценно необходимы и достаточны для устойчивости велосипеда. В статье [3] провели анализ линеаризованных уравнений движения [4] и определили, что устойчивость теряется при условии, когда гироскопические моменты принимаются равными нулю. Однако при этом была получена модель велосипеда, способная оставаться устойчивой без гироскопического вклада.

Данные эксперименты наводят на мысль о том, что при подходящей регулировке одного из параметров устойчивости возможно возникновение новой оптимизированной формы велосипеда, в результате более углубленного исследования потенциально полезных областей конструирования в пространстве проектных параметров.

Список литературы:

1. Klein F., Sommerfeld A. *Über die Theorie des Kreisel* " s. Leipzig: Teubner, 1910. P. 863–884.
2. Джоунс Д. Почему устойчив велосипед? // Квант, 1970, № 12, с. 24–30. [Jones D. E. H. The stability of the bicycle // *Phys. Today*, 1970, vol. 23, no. 4, pp. 34–40 (reprinted in September 2006).]
3. Я. Д. Г. Куйман, Я. П. Мейярд, Д. М. Пападопулос, Э. Руина, А. Л. Шваб, *Неуравновешенный велосипед может быть устойчивым без гироскопического или стабилизирующего действия*, *Нелинейная динам.*, 2013, том 9, номер 2, 377–386
4. Meijaard J. P., Papadopoulos J. M., Ruina A., Schwab A. L. *Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: A benchmark and review* // *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 2007, vol. 463, no. 2084, pp. 1955–1982.
5. Павлов А.В. *Гироскопический эффект. Его проявление и использование*, изд. 3. 1972.

СОЗДАНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА

*Коршунов С.А., студент гр. 5А8Д
Солодовников С.Д. студент гр. 5А8Д
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
E-mail: sak73@tpu.ru*

В настоящее время одним из направлений технического прогресса является широкое применение машин, генерирующих импульсную нагрузку на инструменте, контактирующем с массивом горных пород. При разработке месторождений полезных ископаемых, в строительстве, для бурения шпуров и скважин в горных породах, для разрушения каменных и бетонных блоков, твердых покрытий, забивки свай и труб широкое применение находят буровые машины ударновращательного действия.

В Томском Политехническом Университете был создан опытный образец гидроимпульсного механизма для разрушения массива горных пород. Но по ряду причин, он не был доведен до конца. Однако идеи, заложенные в его конструкцию, не потеряли своей актуальности, и могут являться основой для дальнейшего развития этого перспективного направления.

На данный момент стоит задача восстановить создание гидроимпульсного механизма в стенах НИ ТПУ. В первую очередь необходимо ознакомиться с принципом работы механизма, после перейти к сборке и первым испытаниям.

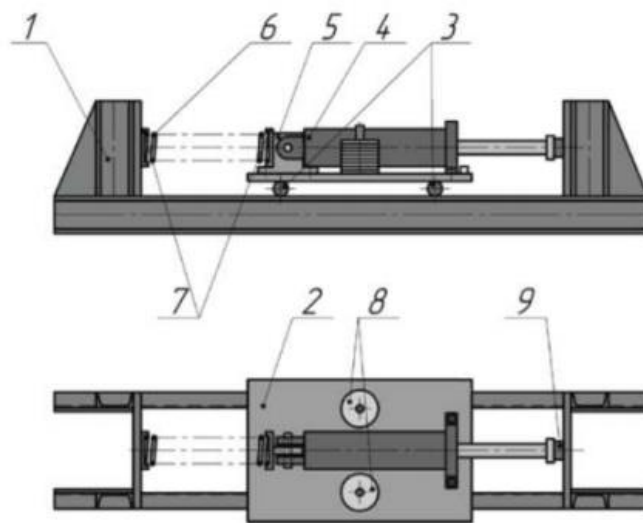


Рис. 1. Схема механической части экспериментального стенда: 1 – рама; 2 – подвижное основание; 3 – ролики; 4 – гидроцилиндр; 5 – стойка; 6 – пружина; 7 – стаканы; 8 – грузы; 9 – измеритель силы

Гидравлическим импульсом называют изменение давления в струе жидкости в трубах вследствие изменения скорости потока. При этом различают положительный гидравлический импульс, когда давление в трубопроводе повышается, и отрицательный гидравлический импульс, когда давление в трубопроводе падает. Положительный импульс в трубе возникает в момент закрытия задвижки на выходе жидкости из длинной трубы, отрицательный импульс — после закрытия задвижки у входа жидкости в длинную трубу. Амплитуда давления гидравлического импульса находится в пропорциональной зависимости от изменения скорости потока. Высокий КПД установки достигается при соблюдении дополнительных условий. Первое из них — это постоянная скорость потока силовой жидкости в нагнетательной трубе, второе — своевременное переключение нагнетательного клапана.

Рабочая схема гидроимпульсного насоса основана на действии гидравлических таранов и работе упругих волн, а также требовании полной ликвидации ударных перегрузок.

Цель сборки установки состоит в том, чтобы использовать установку в работе сваебойной машины. Для устройства свайных фундаментов применяют забивные, винтовые и набивные сваи. Два первых типа свай изготавливают на заводах, а третий устраивают на месте из монолитного железобетона или в сочетании со сборными элементами заводского изготовления. В настоящее время на стройках массовое применение (более 90 % от общего объема применяемых свай) получили главным образом забивные железобетонные сваи квадратного сечения 0,2х0,2...0,4х0,4м длиной до 20м [1].

Достоинства механизма:

- предполагаемый большой коэффициент полезного действия механизма, в связи с отсутствием возвратно-поступательного движения бойка и перемещения жидкости внутри системы (система замкнута);
- нет шума, так как отсутствует боек;
- за счет большего времени давления импульса, создается большая энергия, передаваемая на инструмент.

Гидроимпульсная машина может быть использована для выполнения следующих видов работ:

- для погружения в грунт и извлечения железобетонных свай-оболочек;
- для погружения призматических железобетонных свай в грунт;
- для возведения шпунтового ограждения.

Исполненный гидравлический механизм, сможет стать альтернативой ударных механизмов, и сможет быть использован как дополнительный компоновочный элемент.

Список литературы

1. Пономарев А.В. Гидроимпульсный механизм в работе сваебойной машины. [Текст] /Пономарев А.В., Пашков Е.Н.// Современные техника и технологии: сб. трудов. – Томск, 2013 - №3. – С.3-5.
2. Пашков Е.Н. Повышение эффективности бурения шпуров применением безбойковой гидроимпульсной системы /Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Юровский П.Г.//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. - № S4-1. - С. 521-527.
3. Зиякаев Г.Р. Влияние трения на точность автоматической балансировки роторов/Зиякаев Г.Р., Пашков Е.Н., Урниш В.В.//В мире научных открытий. - 2013. - № 10-1 (46). - С. 104-117.
4. Дубовик В.А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством на гибком валу/Дубовик В.А., Пашков Е.Н.//Известия Томского политехнического университета. - 2007. - Т. 311. -№ 2. - С. 12-14.
5. Pashkov E.N., Martyushev N.V., Masson I.A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 20, Modern Techniques and Technologies. Сер. "20th International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies, MTT 2014" 2014.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В СИСТЕМЕ NX

М.Е. Лустенков, д.т.н., проф.

*Белорусско-Российский университет, 212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр.Мира,43,
тел.(+375 296)-875-121*

E-mail: lustenkov@yandex.ru

Зубчатые колеса являются наиболее распространенными деталями механических приводов. Их моделирование производится в различных САПР. NX является системой с широкими возможностями, Белорусско-Российский университет использует академические лицензии версий 8.5 и 11.5. Алгоритм моделирования зубчатого колеса в любой САД-системе, как правило, основан на построении профиля зуба или его впадины [1]. По уравнениям строится одна эвольвента, другая образуется с помощью операции зеркального отображения. Как показала практика, при создании конкретной модели этот алгоритм работает успешно, при создании модели с управляемыми параметрами при их изменении перестроение модели может сопровождаться ошибками. Задачей исследований являлось создание параметрической модели цилиндрического прямозубого зубчатого колеса без смещения с возможностью последующего изменения исходных данных. Модель при этом должна перестроиться автоматически.

Исходными данными для создания модели зубчатого колеса являются: модуль m , мм; число зубьев z и ширина зубчатого венца b . Только первые два параметра определяют профиль зубьев, третий необходим для создания твердотельной модели.

На основе воздействия оператором (матрицей) поворота [2] на исходные параметрические уравнения эвольвенты [1], также представленные в виде однострочной матрицы, были получены уравнения ветви верхней эвольвенты (рис. 1):

$$x_1 = 0,5 \cdot d_b \cdot (\cos(\gamma_0) \cdot (\cos(\varphi) + \varphi \cdot \sin(\varphi)) - \sin(\gamma_0) \cdot (\sin(\varphi) - \varphi \cdot \cos(\varphi))); \quad (1)$$

$$y_1 = 0,5 \cdot d_b \cdot (\cos(\gamma_0) \cdot (\sin(\varphi) - \varphi \cdot \cos(\varphi)) + \sin(\gamma_0) \cdot (\cos(\varphi) + \varphi \cdot \sin(\varphi))); \quad (2)$$

$$z_1 = 0, \quad (3)$$

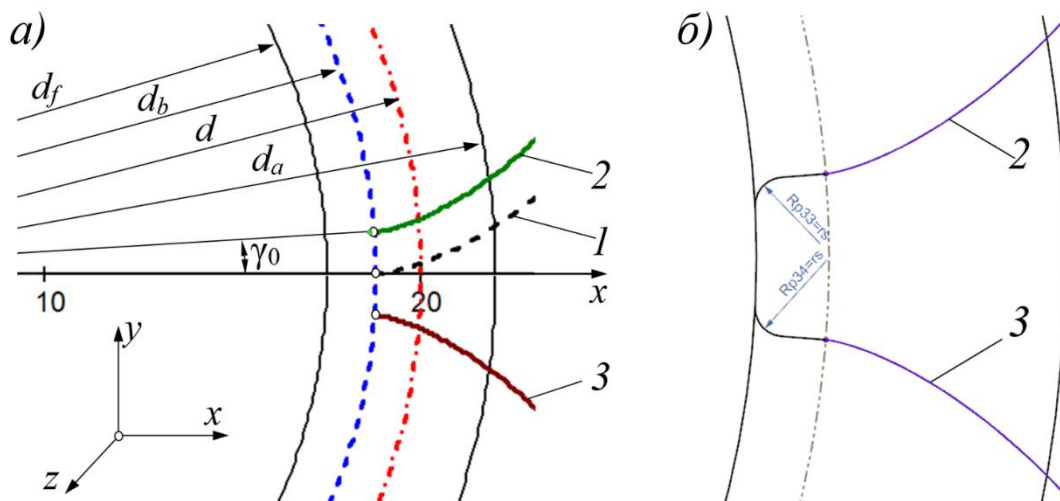
где φ – центральный угол (параметр), изменяемый от 0 до $2 \cdot \pi$; d_b – диаметр основной окружности; γ_0 – центральный угол, на который поворачивается исходная эвольвента относительно оси Oz с помощью оператора поворота.

$$\gamma_0 = \frac{\pi}{2 \cdot z} - \operatorname{tg}(\alpha) + \alpha, \quad (4)$$

где α – стандартный угол зацепления, $\alpha = 20^\circ$.

Уравнения нижней ветви кривой (рис. 1) были получены аналогичным образом, но в этом случае поворот эвольвенты по уравнениям (1)–(3) производился на угол π относительно оси Ox . Уравнения нижней эвольвенты будут отличаться от уравнений (1)–(3) только изменением знака в уравнении (2), т. е. $x_2 = x_1$, $y_2 = -y_1$; $z_2 = z_1$.

Алгоритм моделирования также предполагал построение окружностей впадин, вершин зубьев и дополнительных построений профиля впадины, включающие радиусные закругления (рис. 1, б). На основе полученных уравнений было смоделировано планетарное зацепление (рис. 2).



1 – исходная эвольвента; 2 – верхняя эвольвента; 3 – нижняя эвольвента

Рис. 1. Моделирование профиля впадины зубчатого колеса с параметрами $m = 2$ мм, $z = 20$: а – построение геометрии по уравнениям в MathCAD; б – построения в NX.

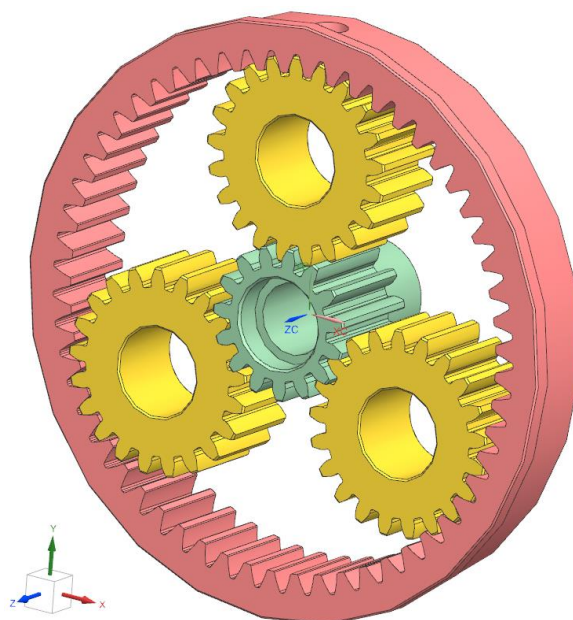


Рис. 2. Модель планетарной передачи с эвольвентными зубчатыми колесами.

Ограничением в рассмотренной модели является то, что диаметр начальной окружности не должен превышать делительный диаметра. Методом 3D-печати были получены образцы колес из пластмассы и стали. Рассмотренный алгоритм может быть доработан для моделирования косозубых цилиндрических колес и колес с внутренним зацеплением (рис. 2), колес со смещением исходного контура, с увеличенным боковым зазором и т.д.

Список литературы:

1. Рамзаева, Е. А. Параметрическое моделирование зубчатых колес в Siemens NX // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – № 3(34). – С. 109–114.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

2. Лустенкова, Е. С. Некоторые аспекты изготовления кулачков сферических роликовых передач // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 3 (64). – С. 59–66.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ В МУЛЬТИПЛИКАТОРНОМ РЕЖИМЕ

М.Е. Лустенков, д.т.н., проф.

Е.С. Лустенкова, ст. преподаватель

*Белорусско-Российский университет, 212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр.Мира,43,
тел. (+375 296)-875-121*

E-mail: lustenkov@yandex.ru

Разработана конструктивная схема мультипликатора на основе сферической шариковой передачи (СШП) с двухрядным сателлитом, позволяющей реализовывать широкий диапазон передаточных отношений [1]. Создана компьютерная модель СШП в системе NX (рис. 1). Рассмотрим принцип работы механизма в редукторном режиме [2]. При вращении ведущего вала 1 вращается его наклоненный участок (эксцентрик) 2. На нем с возможностью вращения относительно эксцентрика размещен сателлит 3. На сателлите установлены два ряда тел качения (шариков) 4 и 5. Шарик контактирует с периодической беговой дорожкой, изготовленной на внутренней сферической поверхности корпуса 6, и беговой дорожкой на внутренней сферической поверхности ведомого вала 7. В мультипликаторном режиме движение от вала 7 передается на вал 1.

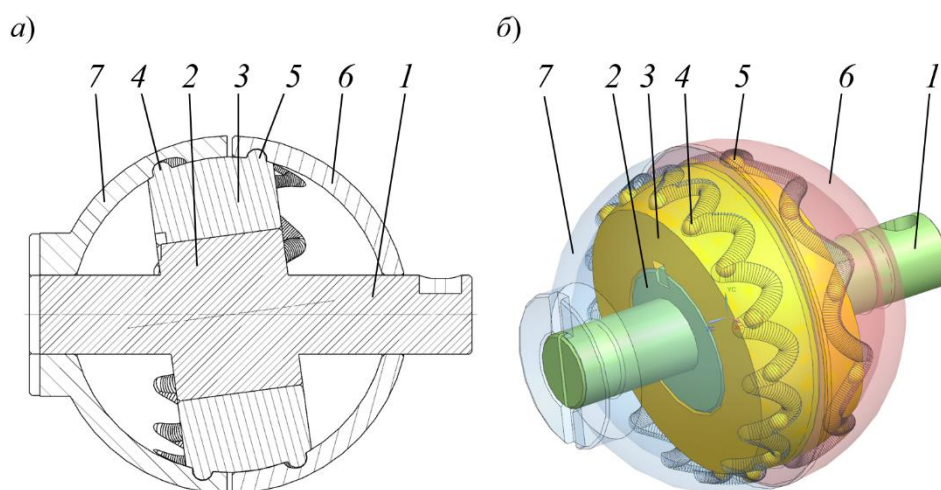
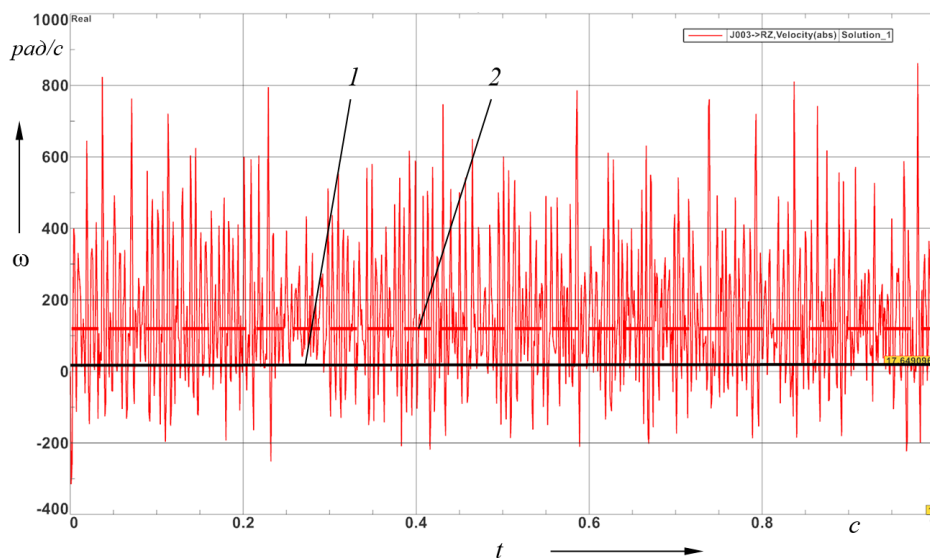


Рис. 1. Конструктивная схема (а) и общий вид (б) модели СШП.

Диаметр основной сферы (поверхности расположения центров масс шариков и их траекторий движения) принимался равным 60 мм, диаметр шариков – 4 мм. Соотношение чисел тел качения и периодов беговых дорожек корпуса 6 и вала 7 обеспечивают коэффициент мультипликации, равный $u_m = 25$.

В системе NX был проведен кинематический и силовой анализы модели. В модели тела качения заменялись сферическими выступами, соединенными с телом сателлита, т. к. множественный контакт с учетом зазоров существенно бы усложнил модель и ее компьютерный анализ. Поэтому рассматривалось движение трех тел: входного 7 и выходного 1 валов и сателлита 3. На входной вал с беговой дорожкой на внутренней сферической поверхности устанавливался вращательный шарнир с заданным вращением относительно оси передачи с постоянной угловой скоростью $\omega_1 = 2 \cdot \pi$ рад/с. На корпус с беговой дорожкой на внутренней сферической поверхности налагался фиксированный шарнир. На выходной вал был установлен вращательный шарнир, также шарнир вращения устанавливался между цилиндрическими поверхностями эксцентрика выходного вала и отверстия сателлита. На входной вал действует момент сопротивления $T_{вых} = -10$ Н·м (знак минус показывает на то, что векторы скорости и момента противоположны, как и

положено для ведомого вала). Динамический коэффициент трения в 3D-контактах шариков (сферических выступов) и беговых дорожек принимался равным $f = 0,1$ (статический коэффициент равен 0,2). Другие параметры контакта имели следующие значения: коэффициент жесткости 100 000 Н/мм, экспонента силы 2, коэффициент демпфирования материала 10 Н·с/мм. Скорость сцепления 0,01 мм/с, скорость трения 0,1 мм/с. Использовался встроенный решатель Adams. Было получено 1000 расчетных точек решения системы уравнений (рис. 2) за время $t = 1$ с.



1 – скорость входного вала $\omega_{вх}$; 2 – скорость выходного вала $\omega_{вых}$

Рис. 2. Угловые скорости звеньев.

Средняя скорость выходного вала в 25 раз выше скорости входного: $\omega_{вых} = 25 \cdot 6,28 = 157$ рад/с. Колебания мгновенных значений угловой скорости связаны с заданными зазорами в модели для интерференции тел и параметрами 3D-контактов. Также был исследован создаваемый момент на входном валу $T_{вх}$, который должен возникать для обеспечения момента на выходном валу $T_{вых} = 10$ Н·м. Среднее значение исследуемого момента составило $T_{вх} = 280$ Н·м. Для определения среднего КПД η будем оперировать также средними значениями угловых скоростей:

$$\eta = \frac{T_{вых} \cdot \omega_{вых}}{T_{вх} \cdot \omega_{вх}} = \frac{T_{вых}}{T_{вх}} \cdot u_m = \frac{10}{280} \cdot 25 = 0,89. \quad (1)$$

Нужно отметить, что при оценке потерь на трение не учитывались потери во вращательных шарнирах – подшипниках качения, что на практике снизит полученные значения КПД. В целом, результаты анализа свидетельствуют о перспективах использования СШП с двухрядным сателлитом в мультипликаторных механизмах с учетом возможности замены скольжения качением.

Список литературы:

1. Efremkov E. A., Kobza E.E., Efremenkova S.K. Force Analysis of Double Pitch Point Cycloid Drive with Intermediate Rolling Elements and Free Retainer [Electronic resource] // Applied Mechanics and Materials Scientific Journal: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). – 2015. – Vol. 756. – P. 29–34.
2. Лустенкова Е. С. Определение оптимальных геометрических параметров сферических роликовых передач по критерию максимального КПД // Вестник Белорусско-Российского

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

университета. – 2019. – № 4 (65). – С. 34–42.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЛИФТА С ИНЕРЦИОННЫМ РОЛИКОМ

М.Е. Лустенков, д.т.н., проф.

Я.Н. Метелица, магистрант

Белорусско-Российский университет, 212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр.Мира,43,

тел.(+375 296)-875-121

E-mail: lustenkov@yandex.ru

Задачей исследований являлось получение уравнений профиля четырехгранного кулачка – одного из основных элементов конструкции ограничителя лифта с инерционным роликом [1]. В качестве исходной периодической кривой была использована косинусоида (синусоида), уравнение которой в прямоугольных координатах

$$f(\varphi) = A \cdot \cos(Z \cdot \varphi), \quad (1)$$

где φ – параметр (центральный угол), изменяющийся от 0 до $2 \cdot \pi$; A – амплитуда; Z – число периодов кривой, размещенное на участке $2 \cdot \pi$ вдоль абсциссы.

По аналогии с плоскими передачами с промежуточными телами качения (радиального типа) [2] были получены параметрические уравнения центрального профиля кулачка:

$$x(\varphi) = (R - f(\varphi)) \cdot \cos(\varphi); \quad y(\varphi) = (R - f(\varphi)) \cdot \sin(\varphi), \quad (2)$$

где R – радиус средней окружности, относительно которой происходят гармонические колебания высоты профиля кулачка.

Уравнения (1) и (2) позволили получить уравнения эквидистантной кривой [3] с учетом радиуса ролика r_0 , которые являются параметрическими уравнениями профиля кулачка

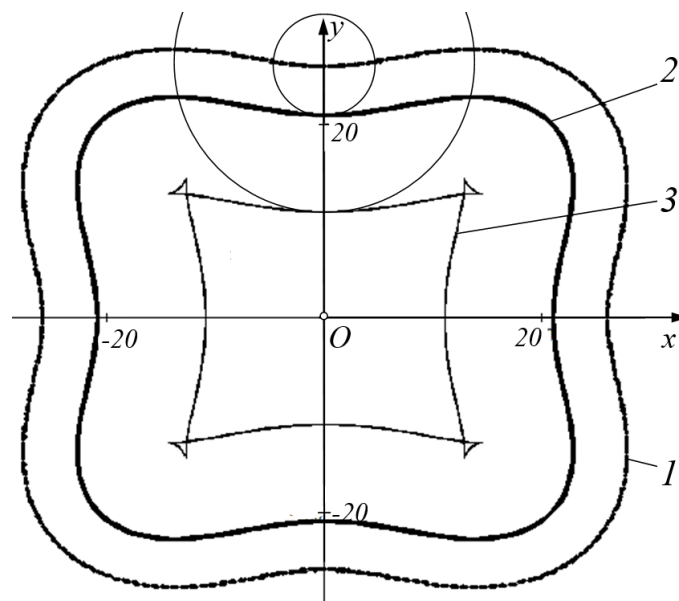
$$x_k(\varphi) = C_1 \cdot \cos(\varphi) - \frac{r_0 \cdot (C_1 \cdot \cos(\varphi) + C_2 \cdot \sin(\varphi))}{\sqrt{(C_1 \cdot \cos(\varphi) + C_2 \cdot \sin(\varphi))^2 + (C_1 \cdot \sin(\varphi) - C_2 \cdot \cos(\varphi))^2}}; \quad (3)$$

$$y_k(\varphi) = C_1 \cdot \sin(\varphi) - \frac{r_0 \cdot (C_1 \cdot \sin(\varphi) + C_2 \cdot \cos(\varphi))}{\sqrt{(C_1 \cdot \cos(\varphi) + C_2 \cdot \sin(\varphi))^2 + (C_1 \cdot \sin(\varphi) - C_2 \cdot \cos(\varphi))^2}}, \quad (4)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты.

$$C_1 = R - A \cdot \cos(Z \cdot \varphi); \quad C_2 = A \cdot Z \cdot \sin(Z \cdot \varphi). \quad (5)$$

Кулачковый профиль (кривая 2), построенный в программе MathCAD, показан на рис. 1. Для известных конструкций ограничителя $Z = 4$. При изменении радиуса ролика r_0 при построении профиля может наблюдаться его искажение (кривая 3). Оно наблюдается при превышении r_0 радиуса кривизны центрального профиля (кривая 2). Поэтому при заданных параметрах Z , A и R радиус ролика не может превышать некоторое максимальное значение $r_{0\max}$. Для его определения были использованы уравнения (3)–(5) и найден радиус кривизны центрального профиля кулачка ρ , как функция центрального угла φ (рис. 2).



1 – центровой профиль; 2 – профиль кулачка при $r_0 = 5$ мм; 3 – профиль кулачка при $r_0 = 15$ мм

Рис.1. Построение профиля кулачка ($R = 20$ мм, $A = 4$ мм, $Z = 4$).

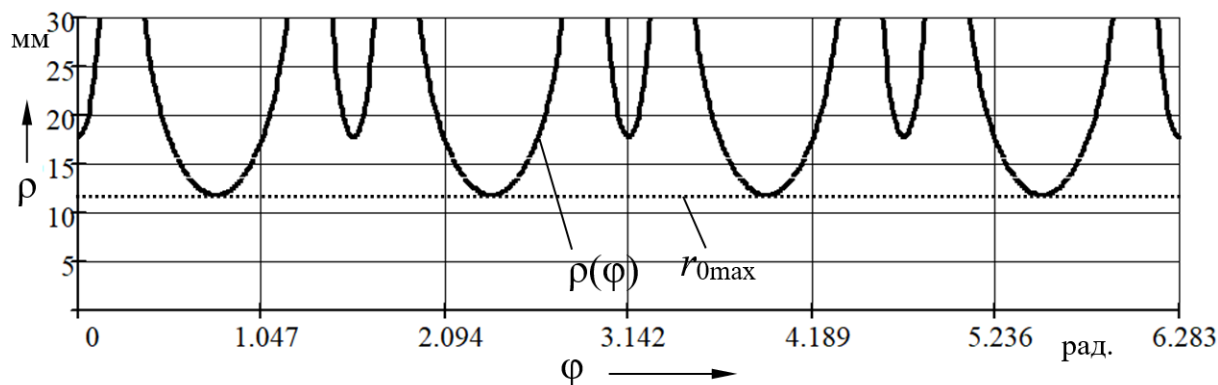


Рис. 2. Изменение радиуса кривизны центрального профиля кулачка при $R = 20$ мм, $A = 4$ мм, $Z = 4$.

При указанных параметрах кулачка искажение профиля будет наблюдаться при превышении r_0 до значения 12,1 мм.

Полученные уравнения позволяют строить профиль кулачка с любым числом граней, амплитудой и средним радиусом, а также определять максимальный размер ролика, обеспечивающий его непрерывный контакт с кулачком при рассчитанной силе прижатия.

Список литературы:

1. Витчук, П. В., Мокин Д. Г. Методика расчета лифтового ограничителя скорости с инерционным роликом // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 134–141.
2. Efremkov, E. A., Bonnard E. Power Parameters Automated Calculation for Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Cage // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – vol. 795. – 6 p.
3. Лебедев, А. М., Синдяев А. В. Получение уравнений эквидистанты и примеры ее применения // Научный вестник УВАУ ГА(И). – 2014. – № 6. – С. 30–34.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ШЛАМОВОГО НАСОСА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА

Л.А. Саруев, д.т.н., проф.,

М.А. Васильев, студент гр. 2БМ05

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: mav17@tpu.ru

В качестве рассматриваемой модернизации[1] предложена конструкция шнекоцентробежного шламового насоса. Таким образом, рабочий орган – центробежное колесо, дополнительно оснащается на входе шнеком.

Предлагаемая конструкция (рисунок 3.5) содержит корпус 1 со всасывающим патрубком 2 и установленный в нем, закрепленный на валу 3 ротор, включающий центробежное колесо 4 закрытого типа и предвключенный шнек с лопатками 5, выполненными на втулке 6. Лопатки 5 одновременно расположены внутри всасывающего патрубка 2 и горловине колеса 4.

Шнек выполнен двухзаходным, а его лопатки 5 установлены перпендикулярно втулке 6.

Диаметр лопаток 5 шнека выполнен уменьшающимся по направлению к центробежному колесу 4.

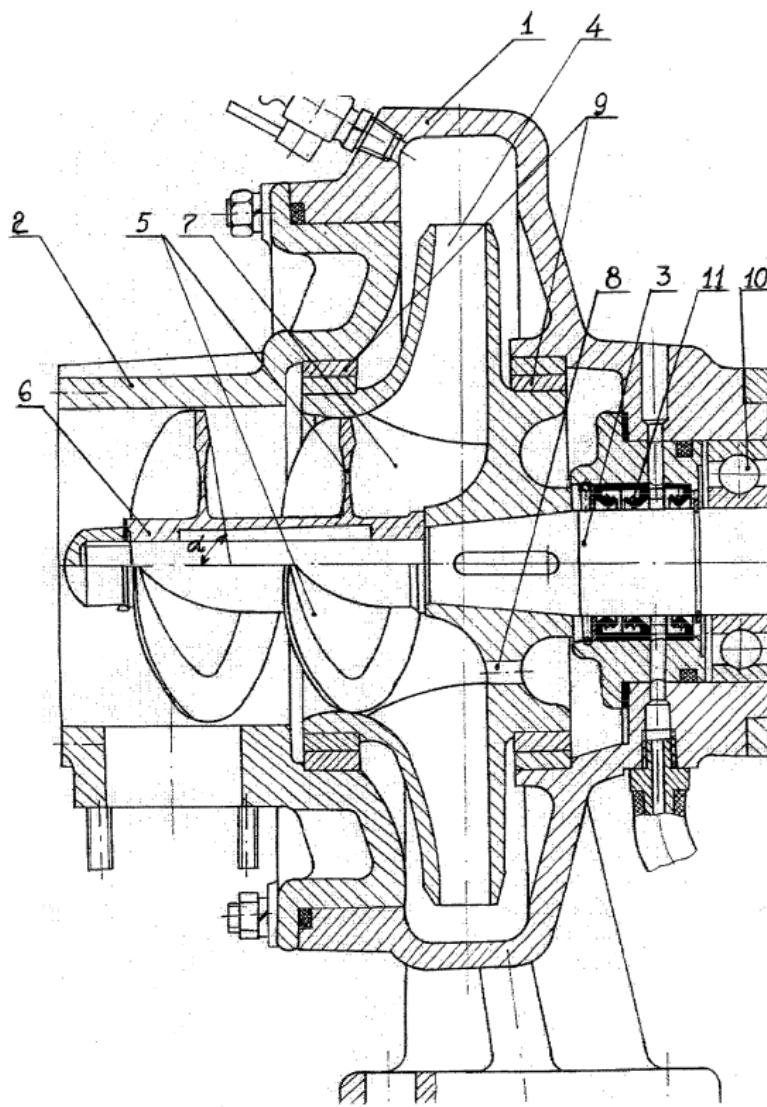


Рис. 1. Шнекоцентробежный шламовый насос

XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения»

Принцип действия шнека основывается на использовании вращающегося винта, спиральная часть которого, способна перемещать раствор, расположенный в полостях между корпусом и винтовым пером шнека. Такая схема обладает компактностью и имеет высокий коэффициент полезного действия, что делает насос экономичным оборудованием.

При вращении вала 3 происходит засасывание бурового раствора во всасывающий патрубок 2 предвключенным шнеком в центробежное колесо 4. За счет размещения выходного участка шнека внутри горловины 7 центробежного колеса 4 предотвращается распространение обратных токов из центробежного колеса 4 ко входу шнека, увеличивается окружная составляющая абсолютной скорости на входе в каналы центробежного колеса 4 и повышается напор, что, в свою очередь приводит к уменьшению величины динамического падения давления на лопастях центробежного колеса 4 и к повышению антикавитационных качеств насоса в целом.

В результате такого исполнения ротора насоса достигается повышение антикавитационных качеств и снижение кавитационной эрозии ротора насоса, а следовательно повышение ресурса шламового насоса.

Проведенная модернизация позволит снизить перетоки раствора (обратно во всасывающий патрубок), что приводит к увеличению к.п.д. насоса в целом, к уменьшению износа колеса и корпуса в результате образования антикавитационного эффекта.

Список литературы:

1. Патент № 2305798 С1 RU F04D 1/04 Шнекоцентробежный насос / Н. А.Мельников, Потуроев А.А., Филатов В.А., 10.09.2007.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

М.С. Черемискина, старший преподаватель

И.С. Боюн, аспирант А0-94

Н.А.Толмачев, студент гр. 5А93

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: cms1@tpu.ru

Повсеместное применение подшипников качения в машинах, делает их предметом постоянных исследований. При подборе подшипника, конструкторы руководствуются грузоподъёмностью и долговечностью. Текущие исследования и сформированные методики позволяют определять долговечность подшипника с высокой точностью, но существуют ряд факторов, которые снижают физическую долговечность подшипника относительно расчетной. К таким факторам можно отнести: не правильный подбор смазочного материала, не точная посадка и не правильный монтаж подшипника, наличие непредполагаемой высокой нагрузки и т.п. Каждый из факторов приводит к характерным разрушениям.

В нормальном рабочем состоянии, места соприкосновения дорожки и тел качения выглядят матовыми, в поврежденных же подшипниках образуются вмятины, задиры, усталостные раковины, трещины и т.д.

К первичным повреждениям подшипника (рис. 1) можно отнести износ, вмятины, задиры, поверхностные разрушения, коррозия, прохождение электрического тока, ко вторичным – усталостные раковины и трещины (рис. 2). За частую, в подшипниках, вышедших из строя сочетается несколько видов повреждений [1].

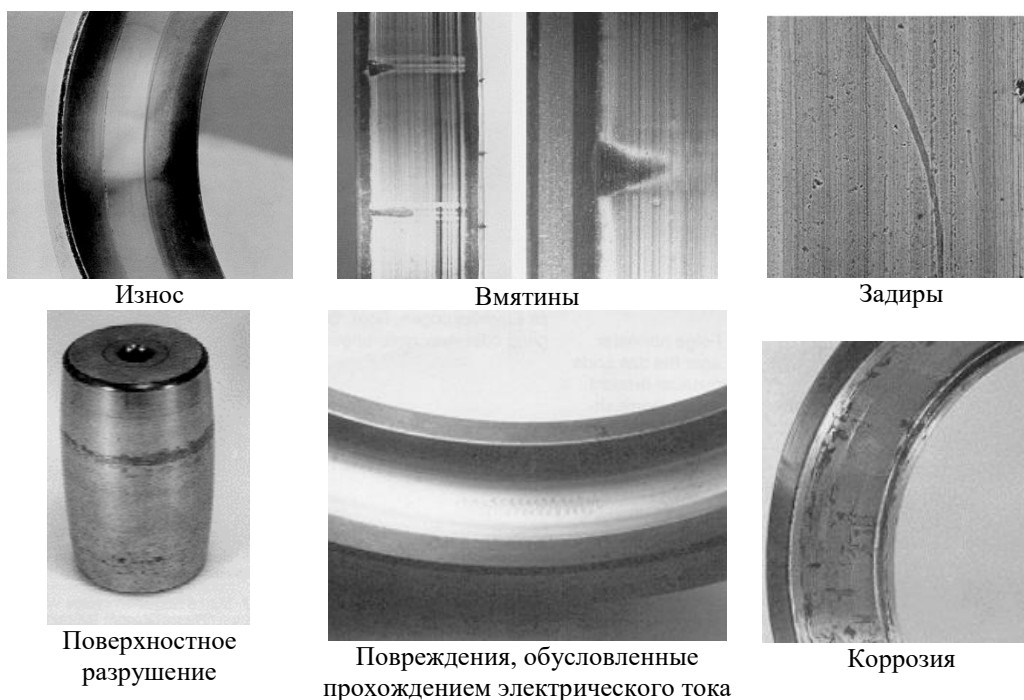


Рис.1. Первичные повреждения подшипников качения

Не соблюдение чистоты рабочего места до и после монтажа подшипника приводящее к попаданию в подшипник инородных частиц, плохие уплотнения, отсутствие смазочного материала приводит к преждевременному износу подшипника. Еще одной причиной износа может служить вибрация не вращающегося подшипника. При уменьшении количества смазочного материала в течении работы подшипника между телами качения и дорожками,

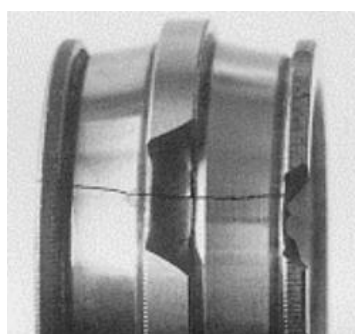
появляется контакт металла, что приводит к появлению углубления в дорожках. Данный вид повреждения схож с повреждениями, появляющимися при прохождении электрического тока. Различает их цвет появившихся углублений, при износе от вибрации лунки блестящие, а не темные.

Осуществление неправильного монтажа приводит к задирам и вмятинам. При установке подшипника необходимо правильно прикладывать усилие, не соблюдение посадки и чрезмерные нагрузки приводят к вмятинам.

Огромную роль в работе подшипника играют смазочные материалы, при отсутствии смазки, вращающиеся части подшипника, находящиеся под нагрузкой, нагреваются и происходит перенос частиц с одной поверхности на другую. Данный вид повреждения называется задиром, поверхность становится шероховатой образуя тем самым концентраторы напряжений.



Усталостные раковины



Трещины

Рис.2. Вторичные повреждения подшипников качения

Когда рабочей ресурс подшипника заканчивается образуются усталостные раковины. Данный вид повреждений является нормой для конца долговечности подшипника. О наличие усталостных раковин сообщает шум и вибрация при работе подшипника. Но данный вид разрушения возможен и при невыработанном ресурсе, происходит он из-за чрезмерного предварительного натяга, некруглости посадочных поверхностей, прекоса подшипника при сборке, образованных вмятин и задилов, а также под действием коррозии. Ко вторичным повреждениям также относятся трещины. Самая распространенная причина их появления это неправильные монтаж и демонтаж подшипника.

Из вышеизложенных причин, можно сделать вывод, что чистота на производстве, а также правильные смазочные материалы и их своевременная замена, могут существенно продлить долговечность подшипника, а исследования повреждений, позволяет производить расчет долговечности с высокой точностью.

Список литературы:

1. SKF. Повреждение подшипников качения и их причины: Каталог. - М., 2002. - с. 47
2. Алисин, В. В. Трение, изнашивание и смазка / В. В. Алисин, В. М. Асташкевич, Э. Д. Браун. - Москва: Машиностроение, 1979 - с. 358
3. Повреждения подшипников качения и их причины/Лысова О.А.//В сборнике: Материалы Международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д.И. Менделеева, посвященной 10-летию Института промышленных технологий и инжиниринга. Ответственный редактор А. Н. Халин. 2019. С. 83-86.

ТАКОМСКИЙ МОСТ И ВЫНУЖДЕННЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС

А.С. Шагиева, студентка гр. 4Д01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30

E-mail: cms1@tpu.ru

Вынужденный резонанс - это резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний при сближении частоты внешней силы с собственной частотой колебания тела. Такомский мост (или мост Такома-Нэрроуз) - висячий мост в США, который был разрушен ветром в 1940 году всего лишь спустя четыре месяца после ввода в эксплуатацию. Киноплёнка запечатлела, как он раскачивается, после чего его массивная часть обрушивается в воду. Наиболее популярная версия произошедшего гласит, что Такомский мост был разрушен резонансными вибрациями: вихри, создаваемые ветром, дующим через мост, происходили на частоте, которая соответствовала естественной частоте колебаний моста. Но как показывают более детальные исследования катастрофы, главной причиной разрушения выступил не резонанс.

Мост Такома стал местным аттракционом: доска моста поднималась и опускалась из-за мягкого ветра той местности каждые несколько секунд, что привлекало внимание туристов. Рабочие, которые строили Такома-Нэрроуз, дали ему прозвище «галопирующая Гертруда». Причиной «галопов» моста действительно был резонанс. Мост состоял из горизонтальной доски и двух вертикальных панелей по бокам (все они были прикреплены к двум большим башням с помощью запутанного клубка проводов), так что в поперечном сечении у нас была бы Н-образная фигура, с горизонтальным ходом намного длиннее вертикальных. Ветер дул поперечно (для визуализации представим, что слева направо). Когда он натыкался на левую панель, он разворачивается в два воздушных потока, которые проходят через мост. Но так как мосту не хватало аэродинамической линии (изогнутой линии, позволяющей конструкции перемещаться через воздух с минимальным поверхностным трением), воздух образовывал вихри сверху, а также снизу. В результате мост совершал колебания вверх и вниз, напоминая галоп. Каждый раз, когда вихрь покидает мост сверху, он создает силу сверху вниз; когда он делает это снизу, сила имеет противоположный смысл. Оба вихря образуются в разные моменты времени, сочетание обоих является периодической силой, называемой частотой Строухала. Если она соответствует естественной частоте моста (или, скорее, одной из его естественных частот, так как сложный объект имеет более одной), у нас будет резонанс. Моделирование моста, проведенное позже в аэродинамической трубе, показало, что окружающий ветер дул с частотой между 0,13-0,3 Гц, и это как раз примерно соответствовало частоте, с которой «галопировал» Такомский мост (между 0,1 и 0,2 Гц, в зависимости от скорости ветра).

Резонанс, вызванный вихрями, объясняет вертикальные движения моста, но он не может объяснить его крушение. Ведь частота ветра в утро падения Такомского моста (частота Строухала) была 1 Гц, а сам мост, как уже было сказано, колебался с совсем другой частотой 0,2 Гц, отличающейся в пять раз. Результаты исследования, проведенного для выяснения причин, показывают, что есть эффект кручения при 0,2 Гц, тем более сильный, чем выше скорость ветра. Таким образом, эксперимент с аэродинамической трубой показывает, что мост должен был сломаться, что он и сделал. Но это не было резонансным явлением. [1]

Главной причиной крушения моста Такома-Нэрроуз было аэродинамическое самовозбуждение - возникновение в системе колебаний при отсутствии внешних воздействий. Как уже было написано выше, вихри создавались как над мостом, так и под ним, создавая на нем вертикальное движение. Теперь важно то, что они также вызывали

вращательное движение, то есть кручение. Рассмотрим рисунок 1. Допустим, ветер начинает наклонять мост по часовой стрелке. Теперь левый вертикальный ход нашей «буквы Н» выше, чем правый. Следствием этого является то, что ветер, идущий с левой стороны, создает сверху больший водоворот, чем снизу. Если скорость ветра невелика, вихрь будет проходить по мосту более одного периода кручения. То есть, пока вихрь находится на полпути, кручение моста изменит направление, и теперь на дне образуется вихрь. Эффект обоих завихрений отменяется. Но если ветер дует сильно, вихрь быстро пройдет по мосту и выйдет с правой стороны, прежде чем доска моста вернется к горизонтالي. Когда кручение противоположно, это будет дно, которое создает вихрь. И тогда эффект завихрения усиливается. [2]

Это то, что произошло на мосту Такома-Нэрроуз. Каждый раз, когда он наклонялся вбок, возникали вихри, которые проявляли момент кручения, который все больше и больше скручивал мост. При каждом колебании кручение увеличивалось, что увеличивало размер вихрей, что, в свою очередь, увеличивало кручение и так далее. Как результат, произошла «перекачка» энергии ветра на мост. Всего за час накопленная кинетическая энергия разорвала мост. Описанное явление напоминает резонанс, но им не является. Условием резонанса является наличие периодической внешней силы с частотой, равной частоте результирующего движения, но частота ветра сильно отличалась от собственной частоты моста. В случае Такома-Нэрроуз частота колебаний моста является естественной частотой системы. А сама сила, ответственная за движение, действует как «антидиссипативная» сила, которая вводит энергию в систему, а не извлекает ее, то есть мост, в некотором смысле, толкает себя. Таким образом, аэродинамическое возбуждение имело место и являлось главной причиной разрушения Такома-Нэрроузского моста. [3]

В заключение можно сказать, что на протяжении всего существования мост Такома подвергался резонансу (колебался вертикально в результате эффекта вихрей). Но события последнего часа его жизни, которые закончились разрушением моста, связаны именно с феноменом аэродинамического самовозбуждения.

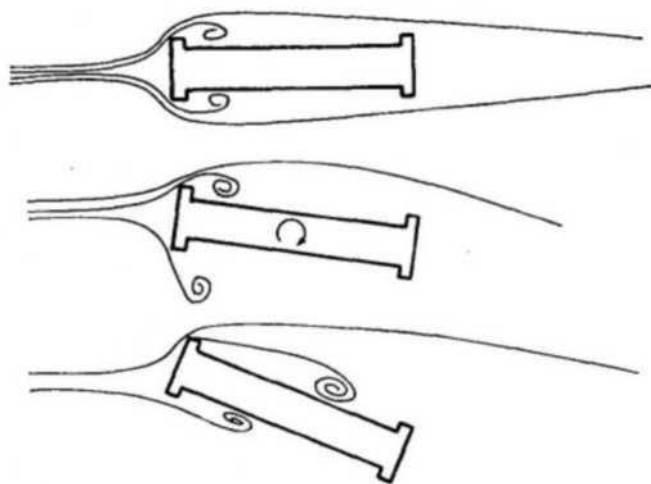


Рис. 1. Аэродинамическое самовозбуждение на примере Такома-Нэрроузского моста.

Список литературы:

1. Feldman, B. What to Say About the Tacoma Narrows Bridge to Your Introductory Physics Class // The Physics Teacher. - 2003. - 41 (2)
2. Billah, K. Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks // American Journal of Physics. - 1991. - 59 (2)
3. Green, D., & Unruh, W. The failure of the Tacoma Bridge: A physical model // American Journal of Physics. - 2006. - 74 (8)

СТЕРЖНЕВАЯ (ФЕРМОВАЯ) КОНСТРУКЦИЯ ДИРИЖАБЛЯ

И.П. Шарычев, студент гр. 4Д01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: ivansharychev@tpu.ru

В середине XIX века французский изобретатель Анри Жиффар сконструировал дирижабль и впервые в истории совершил полёт на нём. Это событие положило начало развитию нового направления в воздухоплавании. Изначально дирижабль представлял собой огромный воздушный шар в виде эллипсоида с двигателем. В качестве оболочки использовалась многослойная прорезиненная ткань. Постоянство внешней формы поддерживалось за счёт избыточного давления несущего газа по принципу баллонета: внутри шара располагалась дополнительная ёмкость с мягкой оболочкой, в которую нагнетался воздух. Однако такие дирижабли не всегда могли сохранять постоянными объём и форму, что затрудняло управление ими. Проблема была решена немецким изобретателем Фердинандом Цепелином. Он создал первые жёсткие дирижабли, в которых неизменяемость внешней формы обеспечивал каркас, состоящий из поперечных и продольных ферм [1].

Фермой называется жёсткая конструкция, которая состоит из прямых стержней, а их концы соединены между собой. Применение ферм в дирижаблестроении выгодно тем, что расходуется сравнительно небольшое количество материала и при этом готовое судно получается очень лёгким и прочным.

Отличительной особенностью дирижаблей жёсткой системы (рис. 1) является то, что они имеют очень прочный каркас, состоящий из продольных и поперечных металлических ферм (поперечные фермы называют шпангоутами, а продольные – стрингерами). Для укрепления каркаса между фермами натягивают специальную проволоку, а затем следует матерчатая оболочка. Поперечные фермы могут иметь различную форму. Например, известный дирижабль «Граф Цепелин» состоял из шпангоутов в виде 28-угольников, а в «Гинденбурге» стержни соединялись в форме 36-угольника. Каркас жёстких дирижаблей в основном изготавливают из металла, реже используется деревянный каркас. В дирижаблях жёсткой системы несущий газ заключён в несколько отдельных мягких ёмкостей.

В конструкции полужёстких дирижаблей также применяются фермы. Главное отличие

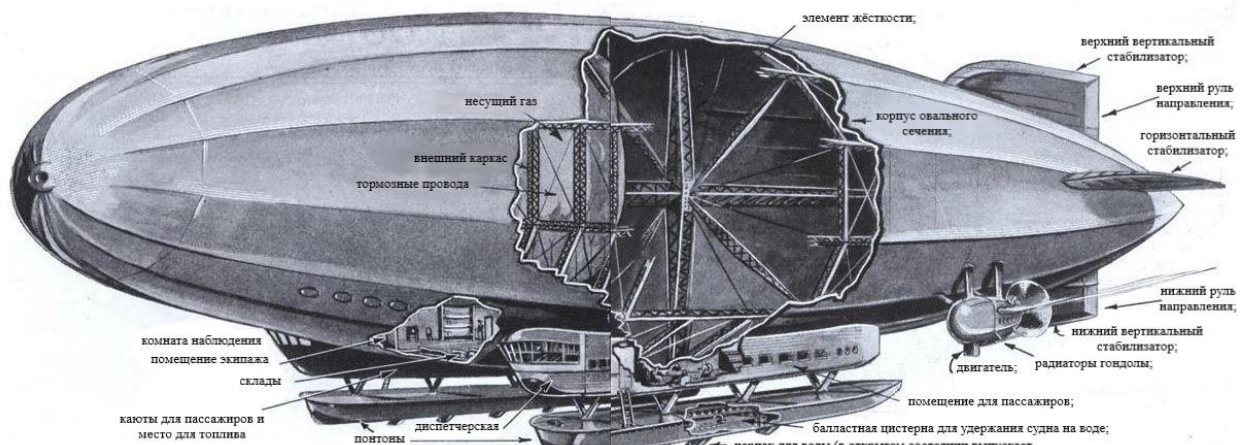


Рис. 1. Схема конструкции дирижабля жёсткой системы

данного вида дирижаблей – наличие в нижней части оболочки металлической килевой фермы. Она состоит из стальных шпангоутов треугольной формы, которые соединяются друг с другом продольными стрингерами. Для повышения жёсткости носовой части оболочки

дирижабля к нему прикреплены стальные трубчатые фермы, скреплённые поперечными кольцами [2].

Устройство современного полужёсткого дирижабля можно рассмотреть на примере конструкции дирижабля «Италия» Умберто Нобиле. Особенностью этого судна является то, что по нижней части проходит килевая ферма, а верхняя часть представлена мягкой оболочкой с несущим газом внутри. Поэтому данный тип дирижаблей называется полужёстким. В данном случае стержни соединялись друг с другом в виде множества треугольников, за счёт чего происходило повышение жёсткости конструкции. Внутри фермы остаётся достаточно места, чтобы расположить здесь каюты, а также склады для груза, горючего вещества и продовольствия. Основная задача фермы – равномерное распределение нагрузки, создаваемой двигателем, гондолой и грузом, по оболочке дирижабля.

В истории известны примеры создания дирижаблей, полностью покрытых металлом. С этой целью используются гофрированные алюминиевые листы. Металлическая оболочка дирижабля является газоместителем и также служит для сохранения формы. Каркас состоит из трехгранных поперечных ферм и продольных стрингеров корытообразного сечения. Полностью металлические дирижабли были созданы в Германии, США и СССР, однако практически все проекты оказались неудачными (единственным успешным цельнометаллическим дирижаблем был американский «ZMC-2») [3].

Безусловно, стержневое строение дирижабля обеспечивает прочность и надёжность летательного аппарата, делает его независимым от погодных условий, поддерживает высокий уровень пожарной безопасности. В жёстких и полужёстких дирижаблях дополнительные крепления обеспечивают большую сохранность внешней формы, а также увеличивают скорость, грузоподъёмность, возможную высоту полёта судна. Всё это доказывает, что использование ферм в конструкции дирижаблей – наиболее выгодное и эффективное инженерное решение.

Список литературы:

1. Дирижабль Жиффара [Электронный ресурс] // Авиалайнеры мира: [сайт]. – [2012]. Режим доступа: <http://airliner.narod.ru/2dirigible/giffard.htm#3>, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 14.09.2021).
2. Устройство современных дирижаблей и их данные [Электронный ресурс] // Военная литература (Милитера): [сайт]. – [2019]. Режим доступа: http://militera.lib.ru/tw/ionov_pp2/03.html, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 14.09.2021).
3. Ионов П.П. Дирижабли и их военное применение [Текст]/П.П. Ионов. – М.: Воениздат, 1937. – 160 с.

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕЛЬНОПОВОРОТНОГО СТАБИЛИЗАТОРА

Д. А. Шикотько, студент гр. 5А96

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: DAS93@tpu.ru

Цельноповоротный стабилизатор – механизм руления, входящий в состав хвостового оперения, применяемый на летательных аппаратах, совершающих полеты на сверхзвуковых скоростях. При повороте весь механизм, а не только его часть, совершает поворот. Сделано это потому, что при преодолении сверхзвуковой скорости эффективность руления значительно снижается, а при отклонении руля самолета давление влияет не на все крыло, а лишь на сам руль.

Конструкция цельноповоротного стабилизатора состоит из обшивки, которая подкреплена каркасом из лонжеронов, стрингеров, стенок и нервюр. Форма стабилизатора бывает разной, связано это с несколькими факторами, но об этом немного позже.

Существует две схемы крепления цельноповоротного стабилизатора:

1. Ось опирается на подшипники, которые вмонтированы в силовые шпангоуты фюзеляжа. Привод стабилизатора осуществляется от качалки, закрепленной на оси или на бортовой нервюре стабилизатора. При этой схеме установки ось, по сути, является с крылом единым целым.

2. В данной схеме ось заделана в фюзеляже, а подшипники установлены в самом стабилизаторе. Качалка привода расположена на бортовой нервюре.

Стоит отметить, что в первом случае ось воспринимает все виды нагрузок (кручение, изгиб и тд), поэтому вне стабилизатора ее делают трубчатого сечения. Та часть оси, которая монтируется в бортовые шпангоуты выполняется в двутавровом сечении. Применяется такое решение потому, что двутавр гораздо лучше воспринимает изгиб. Крутящий момент воспринимается контуром стабилизатора.

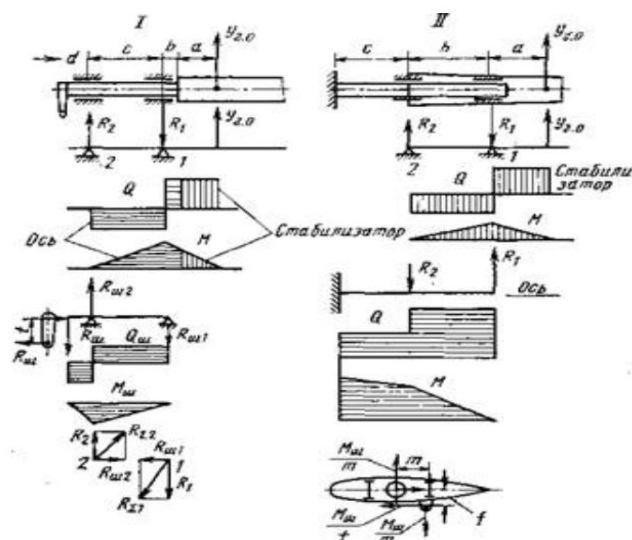


Рис. 1. Схемы установки стабилизатора

Еще одна особенность расчета цельноповоротного стабилизатора, это необходимость учета шарнирного момента.

В случае установки оси в месте наибольшей толщины, может применяться ось максимального диаметра, а значит и создаваться максимальная жесткость конструкции, однако, при такой установке оси расстояние от центра давления стабилизатора до оси будет чрезмерно большим, что приведет к возникновению большого шарнирного момента. Если же

устанавливать ось между положениями центра давления дозвуковой и сверхзвуковой скоростей, то шарнирные моменты значительно снизятся, но при этом также значительно снизится и прочность крыла. А в хвостовой части ввиду малой строительной высоты обеспечение достаточной жесткости конструкции становится почти невозможным.

Чтобы снизить момент и сохранить жесткость конструкции, применяется стреловидные цельноповоротные стабилизаторы, где ось тоже установлена с некоторым углом стреловидности. В таком исполнении достигается максимальная прочность конструкции из-за прохождения оси по утолщенным участкам, а также гораздо меньший шарнирный момент.

При выборе стреловидности необходимо учитывать ряд факторов: эффективность поворотной поверхности, создаваемой ею сопротивление, сложность исполнения узлов крепления и привода, и затрачиваемая мощность привода.

Эффективность цельноповоротного стабилизатора определяется исходя из установки механизма в набегающем потоке. Поэтому при увеличении угла стреловидности для сохранения неизменных характеристик управления необходимо увеличить как угол поворота, так и скорость изменения данного угла.

Качество подъемной поверхности определяется полезной подъемной силой, и создаваемым крылом сопротивлением.

Существует несколько исполнений цельноповоротных стабилизаторов, каждая из которых отличается по своей эффективности, но при этом одинаково надежны.

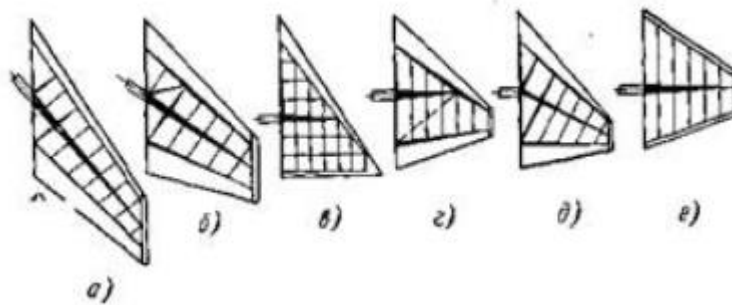


Рис. 2. Формы стабилизаторов

Наиболее часто применяются конструктивно-силовые схемы цельноповоротных стабилизаторов с заделанной осью. Подшипник установлен в фюзеляже.

Список литературы:

1. Чепурных И. В., Прочность конструкций летательных аппаратов: учебное пособие/ И. В. Чепурных. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 137 с.
2. Особенности проектирования цельноповоротного оперения [Электронный ресурс]// URL: <https://poisk-ru.ru/s10484t2.html>

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМА И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ВЫХОДНЫХ ТОКОВ

Е.А. Быстров, аспирант гр. А9-28,

И.А. Сенчин, аспирант гр. А9-28

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: eab33@tpu.ru

Применение импульсных инверторов напряжения в качестве силового преобразователя асинхронного электропривода имеет ряд недостатков, связанных с формированием выходного напряжения путем широтно-импульсной модуляции на частоте 5–15 кГц, неидеальностью силовых ключей, дискретным заданием опорного сигнала. Вследствие перечисленных факторов выходные напряжения инвертора не обладают идеальной синусоидальной формой. В составе выходных токов также есть гармонические составляющие помимо основной гармоники.

По составу высшие гармоники выходных токов и напряжений в зависимости от их непосредственного источника можно разделить на три группы.

Гармоники первой группы лежат в области частот широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и достаточно эффективно фильтруются индуктивностью электродвигателя до уровня 1–2 % от основной гармоники фазного тока. При необходимости (например, для выполнения высоких требований по виброшумовым характеристикам электродвигателя, для снижения интенсивности старения изоляции обмоточных проводов и для прочих негативных факторов) данные гармоники могут быть дополнительно подавлены введением на выходе преобразователя синусного LC-фильтра [1].

Появление гармоник второй группы (гармоники переменной составляющей напряжения источника питания) вызвано пульсациями входного напряжения инвертора в связи с наличием входного выпрямителя либо регулятора напряжения, которые должны быть минимизированы входным фильтром инвертора.

Гармоники третьей группы (гармоники основной частоты выходного напряжения) лежат в области до 1 кГц. Они вызывают повышенную вибрацию электродвигателя, дополнительные тепловые потери. Снижение данных гармоник в токе электродвигателя путем введения фильтров в электроприводах средней и большой мощности на практике сложно реализуются в связи с большими габаритными размерами фильтров, рассчитанных на низкие частоты, а также большими потерями в них [2].

Причинами возникновения данных гармоник могут быть следующие:

– дискретное формирование опорного значения выходного напряжения (наличие ошибок квантования и упрощение формирования расчета функции синуса для снижения нагрузки на управляющий микроконтроллер);

– динамика ключей инвертора, требующая введения «мертвого» времени в управляющие сигналы;

– эффекты насыщения регулятора (ограничения минимального возможного интервала открытия и закрытия ключей);

– эффекты реакции электродвигателя и нагрузки.

Практические исследования показали возможность снижения уровня данных гармоник такими алгоритмическими методами:

– оптимизацией выходной характеристики u/f импульсного преобразователя за счет снижения основной гармоники питающего напряжения, что возможно благодаря достаточному запасу по моменту двигателя;

– введением зависимости частоты ШИМ от режима работы с целью снижения частоты коммутации ключей в ненормальных режимах работы (для уменьшения влияния мертвого времени).

Для анализа влияния алгоритма и режимов работы трехфазного инвертора на спектральный состав выходных токов был разработан экспериментальный стенд на базе сервоконтроллера СК-ЭТ.380-5,5 производства АО «ТЭТЗ», а также имитационная модель трехфазного инвертора в программной среде MatLab Simulink.

Для оценки качества полученных выходных зависимостей было произведено быстрое преобразование Фурье полученных выходных сигналов одной из фаз нагрузки при использовании встроенной функции «FFT Analysis Tool» в программной среде MatLab Simulink блока «Powergui».

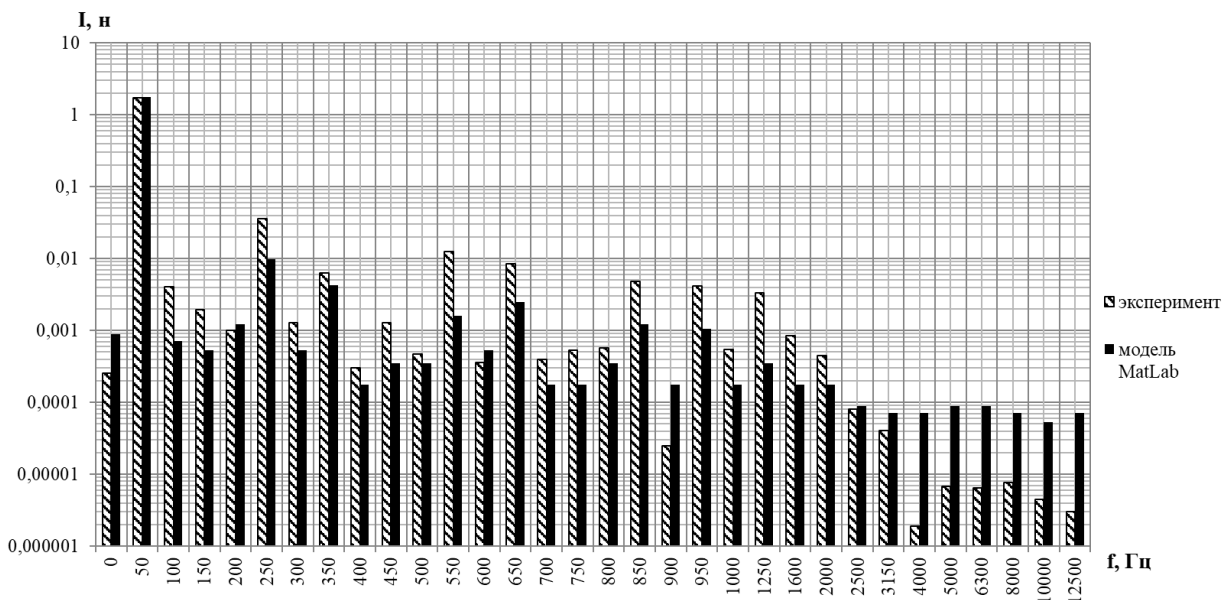


Рис 1. Сравнение спектров фазного тока, полученных при эксперименте и моделировании

Проведя сравнительный анализ результатов эксперимента и моделирования, необходимо отметить высокие уровни в области 5-й и 7-й гармоник, что неоднократно наблюдалось при отработке экспериментального стенда с различными двигателями. Таким образом, получена удовлетворительная сходимость результатов моделирования с экспериментальными данными в области гармоник основной частоты выходного напряжения (тока). Имеющаяся погрешность в результатах может быть следствием различного характера нагрузки и допущений имитационной модели.

В действительности перечисленные методы не всегда дают достаточный результат, для гарантированного снижения уровней гармоник основной частоты требуется пересмотр алгоритма формирования выходного напряжения с точки зрения оптимизации гармонического состава либо применение нестандартных структур силовой части инвертора, например трехуровневую структуру, что также требует изменения алгоритма управления.

Список литературы:

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО ГЕРМЕТИЧНОГО СПАИВАТЕЛЯ ПЛАСТИКОВЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

*Каракулов А. С., к.т.н. доц.,
Шубин Д. С., студент гр. 5А8Ж.*

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: dss41@tpu.ru

Использование пластиковых магистралей на основе поливинилхлорида в качестве передачи жидкостей используется повсеместно в медицинских учреждениях. Основной проблемой пластиковых магистралей являются способы соединения. Зачастую оригинальный комплект с пакетами имеет малую длину, а использование муфт и переходников не дают гарантию герметичности.

Для решения проблемы герметичного соединения трубок, поставлена задача разработать медицинский прибор, который может методом нагрева одноразового стерильного медного лезвия спаять два участка магистралей в одну с герметичным швом. Прибор должен соответствовать следующим техническим требованиям:

- управление мотор-редуктором с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- управление температурой нагревательного элемента;
- безопасность работы с прибором медицинского персонала;
- аудиосигналы для ошибок во время процесса и окончания операции;
- выдача кода ошибок;
- использование концевых микропереключателей в качестве блокировок.

На (рис.1) предложена конструкция медицинского спаивателя.

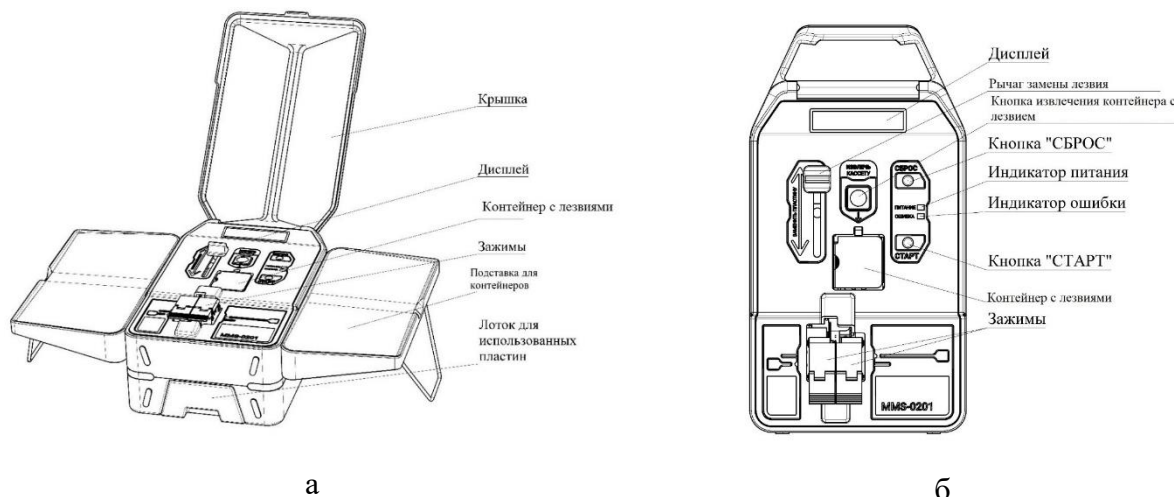


Рис. 1. Общий вид изделия – а, внешний вид панели управления – б

Технические параметры спаивателя пластиковых магистралей

Частота вращения барабана номинальном режиме работы, об/мин	32,5
Мощность мотор-редуктора, Вт	30
Габаритные размеры прибора, мм	220x382x156
Температура нагрева в области спаивания, °С	250-260
Время спаивания, с	20
Питание прибора, В	220

Принцип работы прибора заключается в установке двух магистралей параллельно друг другу в секции зажимов (рис.2), затем стерильное лезвие, нагретое до 250-260 °С разрезает магистралю поперек. После разреза одна из секций магистралей, перемещается вместе с

лезвием до другой параллельно установленной трубки. Две секции зажимов прижимают концы трубок друг к другу и удерживают позицию до, герметичного спаивания магистрали.

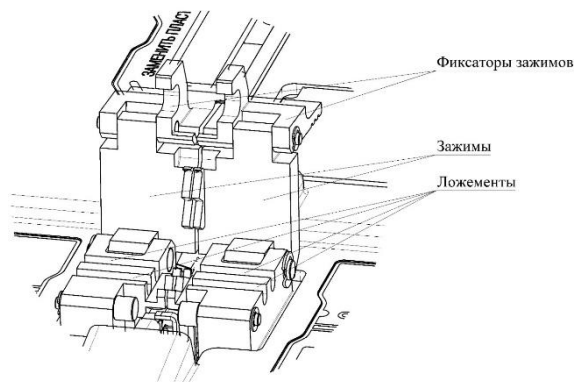


Рис. 2. Вид секции зажимов

Рассчитанная конструкция, трассировка платы и тестирование на выходных испытаниях соответствуют параметрам, указанным техническими требованиями [1].

Преимуществами разработанного прибора являются:

- безопасность использования, для медицинского сотрудника благодаря выполненным программным ошибкам (защита от короткого замыкания, защита от перенапряжения);
- полный цикл блокировок при выполнении неправильного алгоритма действий, прописанных в руководстве пользователя;
- первый прибор, выпущенный на отечественном рынке, который имеет аналоги в Японии, США и Германии.

Описанный прибор, должен найти применение в медицинской отрасли – в системах магистральных одноразовых к фракционаторам крови, в качестве дренажей. Трубки могут контактировать в процессе эксплуатации с кровью, биологическими средами, лекарственными препаратами.

Список литературы:

1. Устройство для тестирования печатных плат встраиваемых систем управления на примере системы охлаждения, вентиляции и кондиционирования: Материалы всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири». Иркутск 21 апреля 2021 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RASPBERRY PI В КАЧЕСТВЕ ПЛК НА ПРИМЕРЕ КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ТЕРМОСТАТА

А.С. Каракулов, к.т.н., доц.,

В.С. Федоринов, студент гр. 5А8Ж

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: vsf13@tpu.ru

На сегодняшний день в быту и каждой отрасли народного хозяйства в качестве средства автоматизации используются программируемые логические контроллеры – ПЛК. В системах автоматического управления АЭС или металлургического комбината используются ПЛК, обеспечивающие повышенную безопасность и надежность функционирования, но в применениях не столь ответственных на смену им приходят одноплатные компьютеры, обладающие меньшей стоимостью и тем же функционалом.

Рассмотрим возможность применения одноплатного компьютера Raspberry Pi для автоматизации техпроцесса на примере термостата, предназначенного для контроля и поддержания в камере термостатирования заданной температуры.



Рис. 1. Модель термостата

На рисунке 1 представлена модель термостата, камера которого выполнена из древесностружечной плиты (ДСП). Термоэлементом, обеспечивающим охлаждение воздуха в камере, является промышленная термоэлектрическая сборка типа «воздух-воздух», собранная на элементах Пельтье. Питание термоэлектрической сборки осуществляется через специальный контроллер управления. Нагрев воздуха обеспечивает нагреватель, с установленным на него вентилятором для ускоренного рассеивания тепла. Значения температуры воздуха в камере снимаются с температурного датчика TMP117, имеющего погрешность измерений $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ [1], и передаются по шине I²C. Для проверки соответствия действительности показаний датчика температуры TMP117, они сравниваются с показаниями температуры на логгере, датчик которого также помещен внутрь камеры. Питание нагревателя, его вентилятора, контроллера управления термоэлектрической сборки осуществляется через твердотельные реле на 60 В постоянного тока и 220 В переменного тока, которые управляются портами ввода-вывода Raspberry Pi. Для информирования и отображения текущего состояния системы используется четырёхстрочный ЖК-дисплей. Все вышеперечисленные элементы автоматики термостата показаны на рисунке 2.

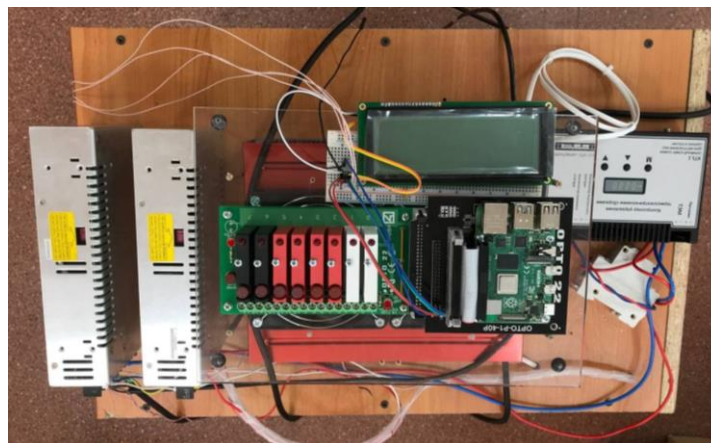


Рис. 2. Элементы автоматики термостата

Структурная схема системы автоматического управления показана на рисунке 3.

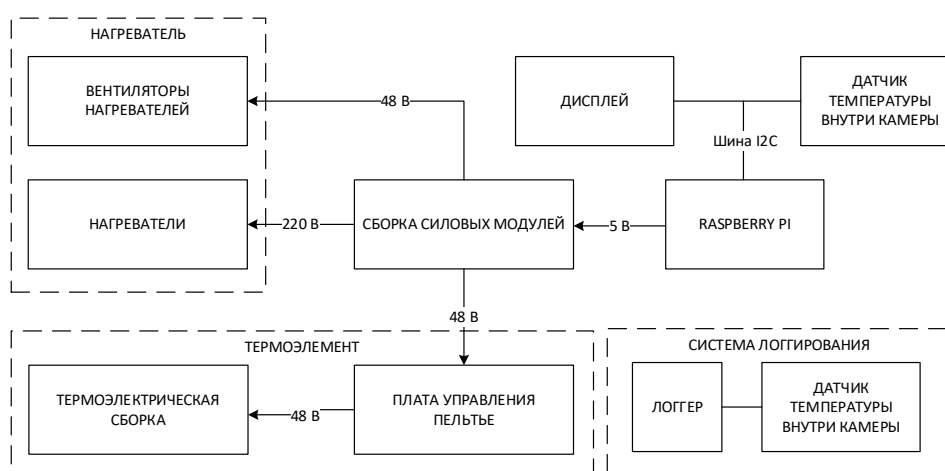


Рис. 3. Структурная схема САУ

В качестве операционной системы на Raspberry Pi использовалась «Raspberry Pi OS Lite», работа с которой происходила через протокол SSH в командной строке операционной системы «Ubuntu», установленной на другом ПК. Программный код писался на языке Python, алгоритм которого основан на дискретных управляющих автоматах, позволяющий эффективно решать задачи управления релейно-контакторным оборудованием. Было реализовано четыре состояния автомата:

1. Работа нагревателя и его вентилятора.
2. Работа вентилятора нагревателя.
3. Работа термоэлектрических сборок
4. Ожидание.

Исходным состоянием является режим ожидания. Если значение температуры в камере не соответствует установленным, то состояние автомата изменяется на такое, чтобы уменьшить величину рассогласования. Для стабилизации системы был установлен гистерезис $\pm 1^\circ\text{C}$.

Произведенная отладка и дальнейшая работа системы продемонстрировала хорошие показатели устойчивости и подтвердила возможность использования одноплатного компьютера Raspberry Pi в качестве ПЛК в АСУ ТП.

Список литературы:

1. TMP117. [Электронный ресурс] URL <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp117.pdf> (Дата обращения 01.09.2021 г)

ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Кладиев С.Н., к.т.н., доц
Д.Е. Воронцов, Г.А. Климкин студенты гр. 5А97
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: dev7@tpu.ru; gak17@tpu.ru*

Датчики тока и напряжения широко распространены в электроприводе, они помогают определить величину, направление и форму протекающего тока. Все датчики тока и напряжения основаны на эффекте Холла

Эффект Холла вызывается силой Лоренца, которая действует на подвижные носители электрических зарядов в проводнике, когда на них действует магнитное поле перпендикулярно направлению тока.

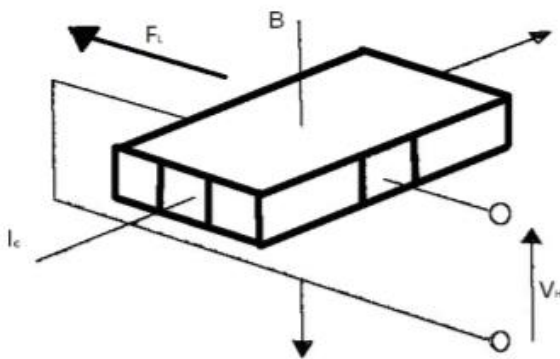


Рис. 1. Генератор Холла

Тонкая пластина полупроводника пересекается вдоль управляемым током I_c . Магнитный поток B генерирует силу Лоренца F_L , действующую перпендикулярно направлению подвижных носителей зарядов, которые и образуют ток. Это ведет к изменению числа носителей зарядов на разных концах пластины и создает разность потенциалов, которая является напряжением Холла V_H .

В компенсационных датчиках усиленное напряжение с генератора Холла используется для создания компенсационного тока I_s во вторичной обмотке. Создаваемый при этом магнитный поток компенсирует магнитный поток, создаваемый первичным током I_p .

Таким образом, датчик работает практически при нулевом магнитном потоке. Это исключает температурный дрейф коэффициента преобразования датчика. Другим преимуществом датчиков компенсационного типа является то, что вторичная обмотка работает как трансформатор тока на высоких частотах, что значительно расширяет частотный диапазон датчика.

К достоинствам компенсационных датчиков, способных измерять постоянный ток, переменный ток и токи иной формы с гальванической развязкой можно отнести:

- Отличная точность.
- Очень хорошая линейность.
- Малый температурный дрейф.

XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения»

- Очень быстрое время отклика и широкий частотный диапазон.
- Отсутствуют потери в измерительной цепи.
- Высокая помехоустойчивость благодаря токовому выходу.
- При необходимости выходной ток очень легко преобразовать в напряжение.
- Датчики выдерживают перегрузки тока без повреждений.

Значение номинального входного тока применимо не для всего частотного диапазона.

С ростом частоты номинальный входной ток необходимо пропорционально уменьшать в связи с наличием внутренних потерь в датчике на гистерезис и вихревые токи. Таким образом, использовать датчики на высоких частотах и больших токах надо с осторожностью.

Датчики напряжения, основанные на эффекте Холла, основаны на тех же принципах, что и датчики тока. Практически они собраны на базе датчиков тока, а главное отличие состоит в первичной цепи, катушка которой изготовлена с большим количеством витков. Это позволяет иметь необходимое количество ампер-витков для создания первичной индукции при минимальном значении первичного тока, обеспечивая, таким образом, минимальное потребление из входной цепи (цепи преобразуемого напряжения).

Поэтому для измерения напряжения достаточно обеспечить первичный ток, эквивалентный этому напряжению, который и будет преобразовывать датчик. Это достигается с помощью резистора, последовательно соединенного с первичной обмоткой.

Таким образом, принципом действия является основанное на эффекте Холла компенсационного типа измерение малого тока прямо пропорционального измеряемому напряжению. Используя добавочный резистор большого сопротивления R_1 в первичной цепи, получаем малый ток, который может быть измерен «оптимизированным» датчиком тока, позволяющим точно измерить малый ток I_{MES} , при этом, имея малый входной импеданс для обеспечения приемлемой точности и достаточного частотного диапазона.

Такие датчики тока и напряжения используются в областях, таких как: выпрямители, лазеры, высоковольтные передачи

Список литературы:

1. ООО «ТВЕЛЕМ», Изолированные датчики тока и напряжения, 2020. – с 8-9
2. power-e.ru // URL: <https://power-e.ru/components/kompensaczionnye-datchiki-toka> (Дата обращения 19.09.2021)

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ

А.Ю. Кротовский, студент гр. 5А8К

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: ayk37@tpu.ru

Фрезерный станок – это станок для обработки металлических изделий вращающейся фрезой при поступательном перемещении заготовки. На фрезерных станках можно обрабатывать плоские и фасонные поверхности с прямыми и винтовыми образующими.



Рис.1 Общий вид станка

Актуальность темы заключается в том что данные станки широко используются и применяются в промышленности.

Характеристики станка:

Мощность – 12 кВт; Питающее напряжение – 380 В; Номинальный ток – 23 А; Габариты станка: Длина – 2395 мм; Ширина - 1745 мм; Высота- 2000 мм; Размеры рабочей поверхности стола, мм 1600×400 мм; Наибольшее перемещение стола, мм: продольное 900; поперечное 320; вертикальное 420; Наибольшая масса обрабатываемой детали (с приспособлением), кг 700; Мощность электродвигателя главного привода, кВт 10.

Он относится к группе фрезерных станков, которые называют консольными из-за того, что они располагают особым кронштейном, являющимся опорой для передвижений стола в вертикальном направлении. Кронштейн именуют консолью, передвижение которой происходит по направляющим станины, установленным вертикально.

Консольные агрегаты могут быть вертикальными, универсальными и горизонтальными. Описываемый нами станок входит в группу вертикальных установок поверхность стола для выполнения фрезерных операций (размеры) – 400х1600 мм;

Расстояние от шпинделя (торца) до стола – от 30 до 500 мм, от оси до направляющих (вертикальных) станины – 450 мм;

Электрические двигатели: основной мощностью 10 кВт, насоса, подающего воду для охлаждения – 0,125 кВт, привода подач – 3 кВт;

Стол: максимальный ход от руки – 420 мм (вертикальный), 320 мм (поперечный), 800 мм (продольный), число подач любого типа – 18, пределы таковых – от 8,3 до 416,6 мм/мин (по вертикали), от 25 до 1250 мм/мин (поперечные и продольные).

Шпиндель станка характеризуется 29-миллиметровым отверстием, конусом №3 по Госстандарту 836–62, частотой вращения от 31,5 до 1600 об/мин, перемещением пиноли на 85 мм (0,05 мм, когда речь идет о его передвижении на деление лимба).

автоматическую подачу (принцип действия – прерывистый); систему торможения шпинделя; выключающие упоры, которые предназначены для блокирования подачи;

защитную муфту, оберегающую установку от перегрузок; систему блокировки включения подач по отдельности, а также запуска механической и ручной подачи. Согласно данным технического паспорта, станок имеет массу 2235 килограммов

Вертикально-фрезерный агрегат, как и любой станок серии "М" отличается высокой степенью электрификации, жесткости и точности обработки заготовок из горячекатаных и холоднокатаных листов стали, медных и алюминиевых листов, чугунных изделий при помощи разных фрез: радиусных; цилиндрических; торцевых; концевых.

Схема подачи достаточно проста: двигатель начинает вращать вал, после чего вращение поочередно передается зубчатой парой другому валу, а затем и всем последующим.

Несколько слов необходимо сказать и о консоли станка, так как именно в ней размещаются узлы, рассмотренной нами цепи подач. Ее корпус изготовлен из чугуна. На корпусе установлены направляющие, уходящие под станину ("ласточкин хвост"), а также направляющие прямоугольной формы под салазки. Прямоугольные направляющие смонтированы перпендикулярно тем, которые были указаны первыми. В винтовой паре механизма подачи рабочей поверхности стола в продольном направлении имеется специальное устройство выборки люфта. За счет него на станке становится возможным выполнение (в автоматических циклах и в стандартных режимах) попутного и встречного фрезерования

Требования к электроприводам станка:

Основные технологические требования заключаются в обеспечении: необходимых технологических режимов обработки с использованием современного режущего инструмента; максимальной производительности; требуемой точности обработки; высокой чистоты обрабатываемой поверхности. Очень важным требованием к электроприводам станков с ЭСПУ, особенно при их работе в автоматизированном производстве, является обеспечение их высокой надежности как относительно сохранения параметров, так и безаварийности, и ремонтпригодности. Повышению надежности работы электроприводов в значительной степени способствуют наличие технологических запасов по параметрам отдельных электронных элементов и схемным решениям. Увеличение скорости быстрых перемещений и снижение скорости установочных перемещений привели к значительному увеличению диапазона регулирования. Максимальная рабочая подача современных многоцелевых станков составляет 30--50 % скорости быстрых перемещений. Полный диапазон регулирования подач в станках фрезерной, расточной и токарной групп составляет 100 - 10000, а в карусельных расширяется до 30000--40000. Теоретически диапазон регулирования привода подачи каждой оси в станках с ЭСПУ при контурном фрезеровании бесконечен (например, при обработке окружности). Реально минимальная подача ограничена чувствительностью электропривода.

Список литературы:

1. Соколов Н.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия.1976. – 516 с.
2. Кучер А.М., Киватицкий М.М., Покровский А.А. Металлорежущие станки - Л.: Машиностроение, 1972. – 306 с.

**УЛУЧШЕННЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

*Г.С. Леневский, к.т.н., доц.,
А.С. Третьяков,
О.А. Капитонов*

*Белорусско-Российский университет, 212000 Республика Беларусь, г. Могилев,
проспект Мира, 43
тел. +375297411983
E-mail: loggie121@gmail.com*

В настоящее время идет непрерывное развитие цифровых силовых преобразователей напряжения и систем управления. Обработывая информацию, непрерывно поступающую с датчиков, по заранее заложенным алгоритмам, или адаптивным схемам идет выработка управляющего воздействия для поддержания технологического процесса.

Информация, поступающая в систему управления технологическим процессом, не всегда может быть получена явно. Часть необходимых системе управления величин можно получить только косвенно, без прямого измерения. Одним из примеров может служить работа преобразователей частоты в замкнутой по скорости системе управления при поддержании скорости вращения на постоянном уровне, без использования датчика скорости. Данная задача может решаться с помощью алгоритма (модели), носящего название наблюдатель состояния.

Наблюдатель состояния – это модель, подключенная параллельно к объекту управления и получающая непрерывную информацию об изменениях регулирующего воздействия и регулирующей величины.

Существует большое количество разновидностей наблюдателей состояния, объединенных наличием электромагнитной модели асинхронного электродвигателя, лежащей в их основе. Для точной работы наблюдателей крайне важно знать точные значения активных и реактивных сопротивлений Т- или Г-образной схемы замещения асинхронного электродвигателя. Для решения этой задачи есть другой класс моделей – идентификаторы параметров схемы замещения.

Идентификатор параметров схемы замещения – это алгоритм, который на основе специально сформированного сигнала напряжения, поданного на одну из фаз асинхронного электродвигателя, достаточно быстро и точно определяет параметры схемы замещения.

Основной недостаток таких алгоритмов – это использование постоянных по величине параметров схемы замещения, что на самом деле не так. Цель работы – разработка электромагнитной модели, учитывающей: зависимость активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного электродвигателя от скольжения; потери в стали; эффект вытеснения тока ротора.

В ходе выполнения работ был проведен анализ описанных в существующих литературных источниках математических моделей асинхронного электродвигателя. Рассмотрены варианты трехфазных моделей в косоугольной системе координат А, В, С, двухфазных моделей в осях α - β и α - β , d-q. Установлено, что: использование трехфазных моделей является избыточным для поставленных задач; двухфазная модель в осях α - β не позволяет получить действительную, зависящую от скольжения частоту тока ротора, и, следовательно, реализовать изменение активного и индуктивного сопротивлений ротора при изменении частоты тока ротора. Для дальнейших исследований была выбрана двухфазная модель в осях α - β , d-q [1]. В известную из литературных источников структурную схему, реализующую такую модель, были добавлены: передаточная функция, связывающая напряжение на цепи намагничивания и потокосцепление намагничивания; передаточная функция, связывающая ЭДС роторной цепи и ток ротора. Разработаны методики синтеза

данных передаточных функций. Передаточная функция, связывающая напряжение на цепи намагничивания и потокосцепление намагничивания, обеспечивает учет потерь в магнитопроводе статора электродвигателя. Передаточная функция, связывающая ЭДС роторной цепи и ток ротора обеспечивает учет эффекта вытеснения тока в стержневой обмотке ротора.

Для решения задачи идентификации параметров схемы замещения электродвигателя был выбран идентификатор, разработанный Приступой Д.Л [2]. Данный идентификатор был доработан: разработан алгоритм расчета настроечных коэффициентов на основе регрессионной модели; внедрен алгоритм предварительной (грубой) оценки параметров схемы замещения; доработана электромагнитная модель асинхронного электродвигателя с учетом вышеназванных эффектов; вся система уравнений записана в форме разностных уравнений, что позволяет реализовать данный алгоритм на микроконтроллерах типа STM32.

Для оценки скорости вращения электродвигателя был выбран адаптивный наблюдатель скорости Х. Куботы [3].

В результате проведенных исследований было установлено, что данный наблюдатель скорости не обеспечивает достаточную точность вычисления скорости при работе с реальным асинхронным электродвигателем низкой мощности при значениях скольжения выше критического. Причина неточности связана с тем, что наблюдатель содержит идеализированную модель электродвигателя, составленную без учета эффекта вытеснения тока в стержневой обмотке ротора электродвигателя и без учета наличия потерь энергии в магнитопроводе статора.

Для повышения точности работы наблюдателя в его внутреннюю модель электродвигателя был добавлен алгоритм, изменяющий значение активного сопротивления и индуктивности рассеивания роторной цепи в зависимости от текущей скорости вращения электродвигателя, для учета влияния эффекта вытеснения тока в стержневой обмотке ротора на параметры роторной цепи.

Было предложено два варианта реализации зависимостей сопротивления и индуктивности рассеивания роторной цепи от скорости вращения: линейная зависимость, при которой сопротивление и индуктивность рассеивания линейно изменяются от значений пускового режима (при неподвижном роторе) до номинальных значений; нелинейная зависимость, для построения которой необходимо произвести расчет либо идентификацию величин сопротивления и индуктивности рассеивания для ряда значений скорости вращения электродвигателя.

В результате исследований было установлено, что вариант реализации с линейной зависимостью повышает точность работы наблюдателя до 50%, но погрешность вычисления скорости остается значительной. Вариант реализации с нелинейной зависимостью позволяет получить высокую точность вычисления скорости при условии достаточно точной предварительной идентификации или расчета зависимостей сопротивления и индуктивности рассеивания роторной цепи от скорости вращения.

Список литературы:

1. Третьяков, А. С. Разработка уточненной электромагнитной модели асинхронного электродвигателя / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов, Г.С. Ленецкий // Вестн. Бел. - Рос. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 69-77.
2. Peresada S, Kovbasa S, Prystupa D. Adaptive observers for self-commissioning of induction motor drives: Theory and experiment // IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems. – 2014. – С.240-245.
3. Kubota, H. Speed sensorless field-oriented control of induction motor with rotor resistance adaptation // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1994. – С.1219-1224.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

А.В. Любимов, студент гр. 5А8Ж,

С.Н. Кладиев, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: lyubimov14@tpu.ru

Вентильные двигатели, ВД (англ. BLDC – Brushless direct current motor, бесколлекторный двигатель постоянного тока) представляют собой перспективный класс электрических машин, бурно развивающийся в настоящее время. Для этих двигателей характерны существенные преимущества по сравнению с коллекторными двигателями: отсутствие щеточно-коллекторного узла, широкие пределы регулирования скорости, высокие энергетические и электромеханические показатели, удельная мощность и удельный момент. Так же вентильные электродвигатели издаюь меньше шума, чем другие типы двигателей. Они сочетают в себе надежность машин переменного тока и хорошую управляемость машин постоянного тока [1].

Управление ВД требует знания положения ротора и механизма переключения двигателя. Для управления скоростью обратной связью необходимо: измерение скорости двигателя и/или тока двигателя и сигнал управления ШИМ. Для определения положения ротора в вентильных двигателях используются датчики Холла. Это приводит к увеличению количества проводов и увеличению стоимости. Бездатчиковое управление устраняет необходимость в датчиках Холла, поскольку вместо этого для оценки положения ротора используется обратная ЭДС двигателя. Такое управление необходимо для устройств, таких как вентиляторы и насосы, компрессоры холодильников и кондиционеров.

Существует множество алгоритмов управления ВД. В основном двигатели используют ШИМ-управление и требуют микроконтроллер для обеспечения функций запуска и управления. Алгоритм управления должен предусматривать три вещи: напряжение ШИМ для управления скоростью двигателя, механизм коммутирования, метод оценки положения ротора с помощью датчиков. Широтно-импульсная модуляция используется для подачи переменного напряжения на обмотки двигателя, чтобы управлять скоростью двигателя и крутящим моментом; причем достаточно подавать ШИМ только на один ключ каждого плеча. Также необходимо учитывать “мертвое время”. А коммутация силовых транзисторов приводит в действие соответствующие обмотки статора, т. е. микроконтроллер должен знать положение ротора и переключаться в нужное время.

Один из простейших методов управления – трапецеидальная коммутация. Три датчика Холла, встроенные в двигатель, измеряют положение ротора в пределах 60-градусных секторов и передают эту информацию контроллеру двигателя. Поскольку в любой момент токи в двух обмотках равны по величине, а в третьей обмотке равны нулю, этот метод может создавать только пространственные векторы тока, имеющие одно из шести различных направлений. Форма волны тока представляет собой трапецию. Системы привода с трапецевидным током популярны из-за простоты их схем управления, но страдают от проблемы пульсаций крутящего момента во время коммутации.

Контроллеры бесщеточных двигателей с синусоидальной коммутацией пытаются управлять тремя обмотками двигателя с тремя токами, которые плавно и синусоидально изменяются по мере вращения двигателя. Относительные фазы этих токов выбираются так, чтобы они приводили к плавно вращающемуся пространственному вектору тока, который всегда отстает на 90° по отношению к ротору и имеет постоянную величину. Это устраняет пульсации крутящего момента и всплески коммутации, связанные с трапецеидальной коммутацией [2].

Для создания плавной синусоидальной модуляции токов двигателя при его вращении требуется угловая обратная связь от энкодера или аналогичного устройства. Информация о

положении от кодировщика используется для синтеза двух синусоид, одна из которых сдвинута по фазе на 120 градусов относительно другой. Затем эти сигналы умножаются на постоянную крутящего момента, чтобы амплитуды синусоидальных волн были пропорциональны желаемому крутящему моменту. Результатом являются два управляющих сигнала синусоидального тока, создающие пространственный вращающийся вектор тока статора.

Командные сигналы синусоидального тока подаются на вход пары ПИ-регуляторов, которые контролируют ток в двух соответствующих обмотках двигателя. Ток в третьей обмотке двигателя представляет собой отрицательную сумму токов в управляемых обмотках и поэтому не может управляться отдельно. Выходной сигнал каждого ПИ-регулятора подается на ШИМ-модулятор, а затем на выходной мост и две клеммы двигателя. Напряжение, приложенное к третьему выводу двигателя, получается, как отрицательная сумма сигналов, подаваемых на первые две обмотки, что соответствует трем синусоидальным напряжениям, сдвинутых на 120 градусов. На рисунке 1 представлены диаграммы синусоидального напряжения (V_a , V_b , V_c) и сигналы ШИМ (S1-S6), подаваемые на соответствующие ключи инвертора.

Синусоидальная коммутация приводит к плавности управления. Однако, хоть этот способ очень эффективен при низких скоростях двигателя, он не эффективен на высоких скоростях двигателя. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости контроллеры контура тока должны отслеживать синусоидальный сигнал возрастающей частоты. В то же время они должны преодолевать обратную ЭДС двигателя, которая также увеличивается по амплитуде и частоте с ростом скорости. Зависящие от времени возмущения в контуре управления током вызывают фазовую задержку и ошибку усиления в токах двигателя, а потому создается меньший крутящий момент, и поэтому для поддержания крутящего момента требуется больший ток. Эффективность ухудшается.

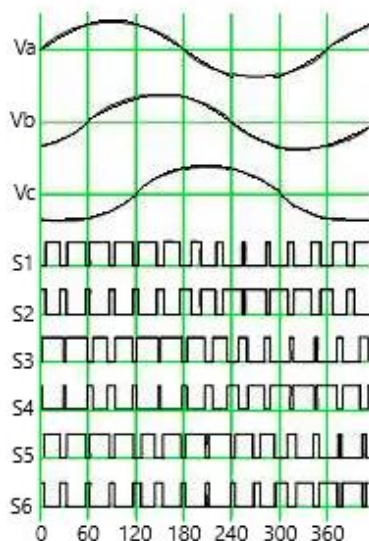


Рис. 1. Синусоидальное управление ВД

Список литературы:

1. Бабичев, А.В., Исследование вентильного электропривода колебательного движения при потенциально фазовой модуляции [текст] / ТПУ. – Томск, 2017.
2. Алексеев И. Управление вентильным электродвигателем, часть 2 [Текст] / И. Алексеев, А. Глубоков, А. Пашкевич // Электронные компоненты. – 2008. – №3. – С. 117–124.

ЦИФРОВОЙ ИНТЕГРАТОР МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

И.А. Набунский, аспирант гр. А9-28

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: nabunskii@vanlove@tpu.ru

В работе [1] было предложено измерение мгновенных значений потокосцеплений статора с помощью измерительных обмоток уложенных в пазы статора. Для этого необходимо проинтегрировать проекции вектора ЭДС измерительной системы $\vec{E}_{изм}$, снимаемых с двух измерительных обмоток, уложенных в пазы статора АД.

$$\vec{\psi}_s = \int \vec{E}_{изм} dt \quad (1)$$

При восстановлении сигнала потокосцепления статора АД по (1) возникает проблема неизвестных начальных условий интегрирования. В связи с этим будет неизбежно накапливаться систематическая ошибка интегрирования. Для решения этой проблемы с некоторой степенью приближения интегратор можно заменить апериодическим звеном первого порядка [2]. Недостатком данного метода является появление амплитудно-фазовых искажений в потокосцеплении при работе на низких частотах. Для решения данных проблем необходимо построить высококачественный цифровой интегратор.

В операторной форме записи передаточная функция интегратора выглядит следующим образом:

$$W(s) = \frac{k}{s} \quad (2)$$

где k - коэффициент передачи, в общем случае принимается равным 1.

Для того чтобы передаточная функция интегратора стала дискретной необходимо периодически «размножить» нули и полюса с периодом τ . В таком случае появляется большое количество нулей и полюсов, что не совсем практично. С целью упрощения анализа переходят из комплексной s -плоскости в комплексную z -плоскость. На данный момент известен и широко применяется метод Тастина [3]. При ограничении степенного ряда Тейлора первой степенью получаем эквивалентную подстановку, называемую билинейным преобразованием:

$$s = \frac{2}{\tau} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (3)$$

Тогда передаточная функция интегратора будет выглядеть следующим образом:

$$W(z) = \frac{1}{\frac{2}{\tau} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}} = \frac{\tau}{2} \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (4)$$

Если мы попытаемся подать измеренный сигнал на полученный цифровой интегратор, то увидим, что шумовая составляющая отфильтрована, но в сигнале присутствует постоянная составляющая.

Для подавления постоянной составляющей добавим последовательно в структуру цифрового интегратора фильтр Баттерворта высоких частот второго порядка передаточная функция которого имеет вид [4]:

$$W(s) = \frac{s^2}{s^2 + s \cdot \omega_{cp} \cdot \sqrt{2} + \omega_{cp}^2} \quad (5)$$

где ω_{cp} - частота среза.

В (5) необходимо заменить s на (3). После всех преобразований получим структуру цифрового фильтра интегратора

Результат процедуры интегрирования с помощью предложенного цифрового фильтра интегратора представлен на рисунке 1.

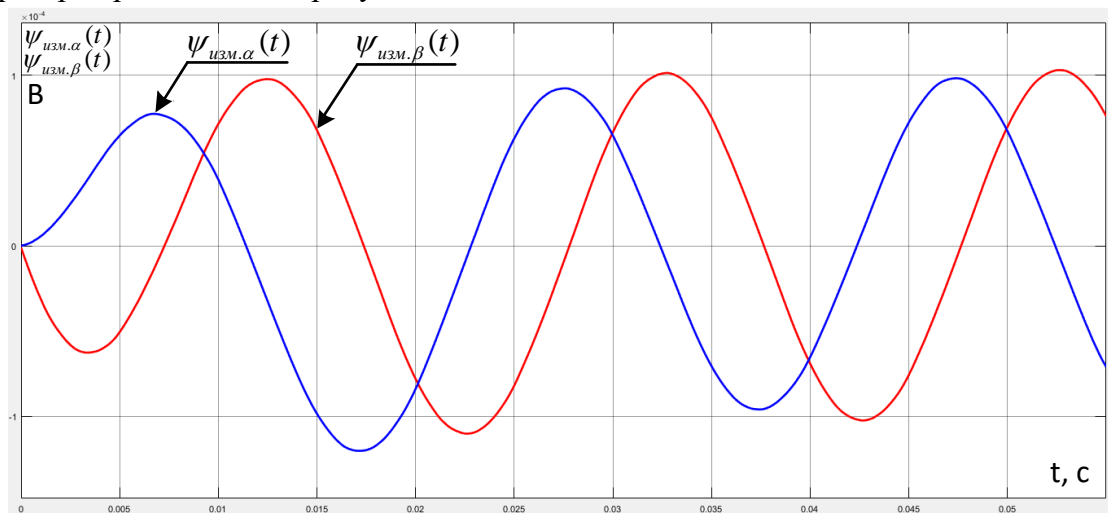


Рис. 1. Сигналы с измерительных обмоток проинтегрированные с помощью предложенного цифрового фильтра интегратора

Анализируя рисунок 1 можно сказать, что предложенный цифровой интегратор удаляет постоянную составляющую, отфильтровывает шумовую составляющую. Предложенный фильтр по своей структуре является БИХ-фильтром и обладает нелинейной фазочастотной характеристикой (ФЧХ) вследствие чего фаза сигнала искажена.

На основании косвенной информации о потокосцеплениях, получаемой по проекциям ЭДС $E_{изм.\alpha}(t)$ и $E_{изм.\beta}(t)$, снимаемым с измерительных обмоток, уложенных в пазы статора асинхронного двигателя, возможно восстанавливать проекции потокосцепления статора АД $\psi_{изм.\alpha}(t)$ и $\psi_{изм.\beta}(t)$ с помощью цифрового фильтра интегратора. При этом необходимо будет решить проблему построения цифрового фильтра с компенсацией задержки введенной БИХ фильтром высоких частот.

Список литературы:

1. Набунский И.А., Образцов К.В., Глазырин А.С., Раков И.В., Буньков Д.С. Измерение мгновенных значений магнитного поля в асинхронном двигателе с помощью измерительных обмоток // Современные технологии, экономика и образование: сборник научных II Всероссийской научно-методической конференции, Томск, 02–04 сентября 2020, С. 136-138.
2. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – М: МВТУ им. Баумана, 2015. – 60 с.
3. M. Korzonek, T. Orłowska-Kowalska and G. Tarchala, "Discrete realization of MRASCC estimator of induction motor speed using analogue emulation", IEEE International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion, pp. 914-919, 2018.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб: Питер, 2002. - 608 с.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г.И. Однокопылов, д.т.н., проф. ОЭЭ,

К.Н. Негодин, аспирант гр. А8-28

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: knn1@tpu.ru

В настоящее время к промышленным механизмам предъявляются высокие требования по надежности и отказоустойчивости. Это обусловлено государственными стандартами, желанием предприятий обеспечить непрерывность технологических процессов, а также безопасность сотрудников и уменьшением экономических потерь в случае возникновения отказов или аварийных ситуаций [1].

Для решения этих задач можно использовать отказоустойчивый электропривод, выполненный на базе трехфазного асинхронного двигателя (АД) со связанными или развязанными фазами [2]. Подобное исполнение электропривода позволит с наименьшей ресурсозатратностью обеспечить продолжение технологического процесса до ближайшего обслуживания механической части электропривода [3, 4]. Разумеется, подобное исполнение подойдет не каждому предприятию, но это, в первую очередь, зависит от технологических требований производства. В данном материале рассматривается схема с развязанными фазами.

Простейшая имитационная модель представлена на рис. 1.

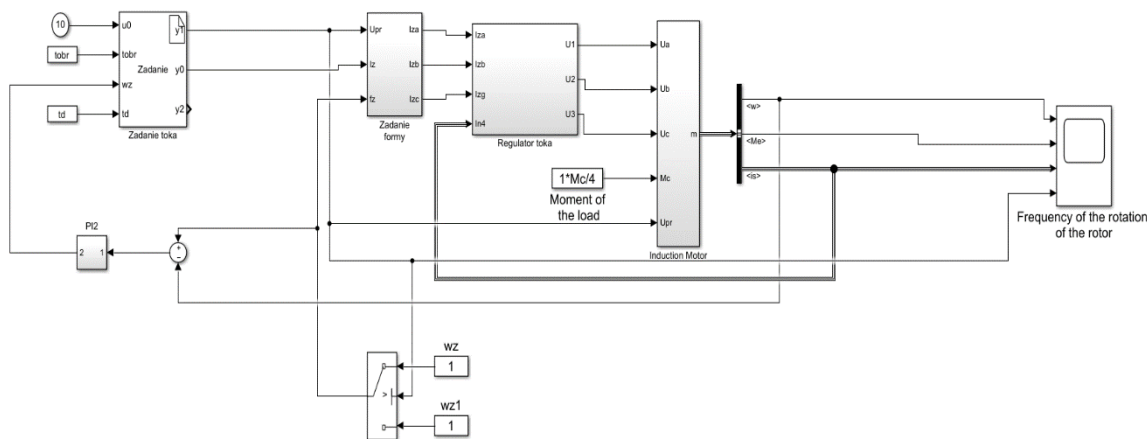


Рис. 1. Имитационная модель отказоустойчивого электропривода с АД.

Результаты моделирования, представленные на рис. 2, показывают, что в случае обрыва одной из фаз посредством сдвига двух работающих фаз можно добиться работы электропривода на пониженной мощности. Данное решение обеспечит работу механизма, которая позволит продолжить выполнение технологического процесса на пониженной мощности.

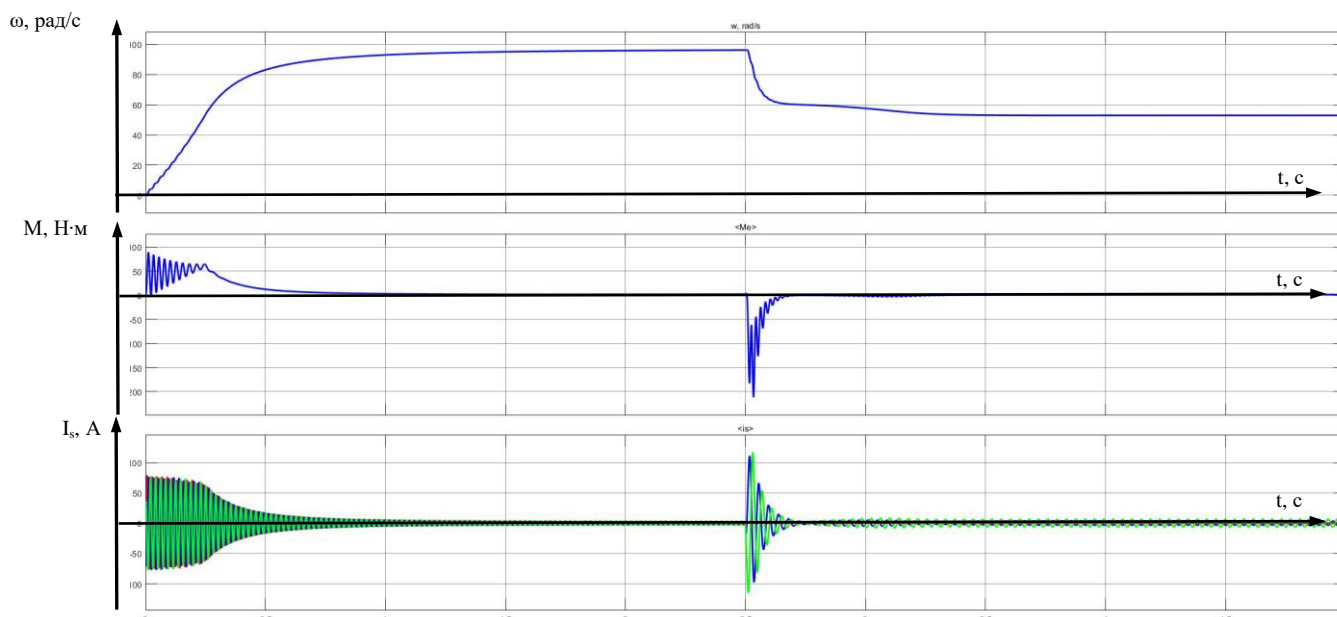


Рис. 2. Имитационная модель отказоустойчивого электропривода с АД.

Данное решение можно применить также и для транспортных средств, что позволит в случае отказа не допустить аварийной ситуации на дороге и не подвергать опасности жизни участников движения, доехать до ближайшего пункта СТО и произвести необходимое обслуживание транспортного средства.

Список литературы:

1. Однокопылов, Г.И. Применение системного анализа для обеспечения эксплуатационной надёжности электрических машин в алмазодобывающей промышленности / Однокопылов Г.И., Дементьев Ю.Н., Шевчук В.А. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 5. С. 131-140.
2. Однокопылов, Г.И. исследование отказоустойчивого вентиляльно-индукторного электродвигателя насоса для добычи нефти / Однокопылов Г.И., Букреев В.Г., Розаев И.А. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 10. С. 69-81.
3. Казовский Е.Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. – М.: Изд-во АН СССР, 1968. – 526 С.
4. Мощинский Ю.А., Петров А.П. Математическая модель несимметричного асинхронного двигателя на основе схем замещения для переходных режимов // Электротехника. – 2003. – № 2. – С. 24–30.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г.И. Однокопылов, д.т.н., проф. ОЭЭ,

К.Н. Негодин, аспирант гр. А8-28

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: knn1@tpu.ru

В настоящее время к промышленным механизмам предъявляются высокие требования по надежности и отказоустойчивости. Это обусловлено государственными стандартами, желанием предприятий обеспечить непрерывность технологических процессов, а также безопасность сотрудников и уменьшением экономических потерь в случае возникновения отказов или аварийных ситуаций [1].

Для решения этих задач можно использовать отказоустойчивый электропривод, выполненный на базе трехфазного асинхронного двигателя со связанными или развязанными фазами. При разработке математической модели приняты общепринятые допущения и ограничения, такие как ненасыщенность электрической машины, пренебрежение потерями в стали, симметрия фаз и их сдвиг на 120 электрических градусов, намагничивающие силы обмоток и магнитные поля распределены синусоидально и вдоль окружности воздушного зазора [2-4].

Функциональная схема отказоустойчивого асинхронного электропривода в аварийном двухфазном режиме с учетом принятых допущений представлена на рис. 1.

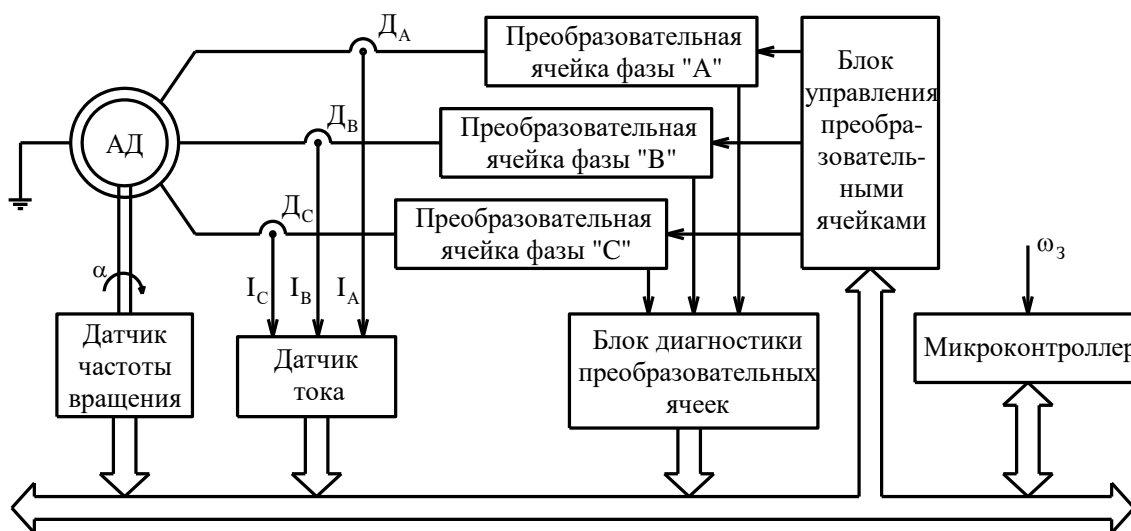


Рис. 1. Функциональная схема отказоустойчивого асинхронного электропривода.

Математическая модель асинхронного двигателя, позволяющая исследовать аварийные динамические режимы и способы восстановления работоспособности электродвигателя, может исследовать два способа восстановления: режим со связанными и режим с развязанными фазами. Такую модель целесообразно представить разложением асинхронного двигателя на поля прямой и обратной последовательности. Это позволит исследовать аварийный двухфазный режим. Итоговые выражения для уравнений полей с развязанными фазами будут выглядеть следующим образом:

$$\frac{d[i_1]}{dt} = [L_1]^{-1} \cdot \left\{ [U_1] - \left[[R] + [L_2] \cdot \frac{p \cdot \omega}{\sqrt{3}} \right] \cdot [i_1] \right\}$$

$$\frac{d[i_2]}{dt} = [L_1]^{-1} \cdot \left\{ [U_2] - \left[\begin{array}{c} \\ \end{array} \right] + [L_2] \cdot \frac{p \cdot \omega}{\sqrt{3}} \right\} \cdot [i_2] \Bigg\}$$

Итоговые выражения для активных сопротивлений примут вид:

$$[R_M] = ([1] + k_\infty [M_0])[R]$$

$$[R_{ML}] = ([1] + k_\infty [M_{0L}])[R_L]$$

Электромагнитные моменты для полей прямой и обратной последовательностей определяются по выражениям:

$$M_1 = p \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_{1A}i_{1c} + i_{1B}i_{1a} + i_{1C}i_{1b}) - (i_{1A}i_{1b} + i_{1B}i_{1c} + i_{1C}i_{1a})];$$

$$M_2 = p \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_{2A}i_{2c} + i_{2B}i_{2a} + i_{2C}i_{2b}) - (i_{2A}i_{2b} + i_{2B}i_{2c} + i_{2C}i_{2a})].$$

Благодаря вышеописанным выражениям можно рассчитать угловую скорость, выразив её из уравнения движения электропривода.

Данное математическое описание позволит исследовать различные динамические режимы электропривода, провести имитационное моделирование с имитированием обрыва фазы статора или ротора двигателя. Также можно разработать алгоритмическое поддержание работы электрического поля для работы двигателя в двухфазном режиме. t, c

Список литературы:

1. Однокопылов, Г.И. Моделирование вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах работы / Однокопылов Г.И., Розаев И.А. Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 4. С. 138-143.
2. Однокопылов, Г.И. Математическая модель асинхронного двигателя в неполнофазном режиме работы / Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 4. С. 133-137.
3. Казовский Е.Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. – М.: Изд-во АН СССР, 1968. – 526 С.
4. Мощинский Ю.А., Петров А.П. Математическая модель несимметричного асинхронного двигателя на основе схем замещения для переходных режимов // Электротехника. – 2003. – № 2. – С. 24–30.

СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ РАБОТЕ ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА ПРИВОДА ПРИ PLM ПРОЕКТИРОВАНИИ

*Алфёрова Е.А., к.т.н., доц.,
Есюнин А.И., магистрант гр. 4АМ01;
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389
E-mail: alferova@tpu.ru*

При работе самосвалов на базе автомобилей БЕЛАЗ, в условиях карьеров, по данным предприятий эксплуатирующую подобную технику, в период с 2012 по 2019 год 75% произошедших отказов и поломок техники связаны с тем, что ступица рабочего колеса гидротрансформатора является интенсивно нагруженной деталью, на которую в период ее работы воздействуют не только механические нагрузки, но температурные и другие. Например, гидродинамические силы, возникающие в период погружения зубцов передач в масляную ванну и прочее. Поэтому предлагается провести комплексное исследование процессов происходящих со ступицей колеса и выявить основные нагруженные места. С учетом проведенного анализа, можно провести выпуск партии ступиц колеса с обновленными параметрами и провести их натурные испытания.

Анализ условий работы ступицы выявил высокое граничное давление, возникающее в месте перехода из воздушной среды в масляную ванну.

3D модель ступицы рабочего колеса гидротрансформатора разбивается на элементы, которые будут соответствовать всем геометрическим характеристикам. Для этих элементов задаются физико-механические характеристики материалов, из которых состоит ступицы. После этого задаются граничные условия и внешнее влияние на модель. Для задания подобного модуля ограничений необходимо выполнить ввод в программный комплекс ряда математических зависимостей, которые описывают взаимосвязь физических процессов, происходящие при работе ступицы. Вторым по важности мероприятием является поиск входных параметров, которые позволят определять и задавать начальные и конечные условия работы. Подобная работа должна быть проведена для каждого элемента, где используется другая расчетная сетка.

В ходе работы над моделью было подтверждено, что все основные размеры ступицы были приняты на основании проведения конструкторского расчета всего узла.

После определения всех граничных условий необходимо провести задание параметров решателя. Указанный параметр прямо влияет на достоверность полученных результатов. Например, при установке параметра итерации, равному 40, решения будут соответствовать натурным испытаниям в 60% случаев. Указанный параметр позволяет оценить достоверность проведенных исследований. Для первого предварительного расчета указанный параметр можно выставить много меньше, так как анализ проводится на конструкции, которая эксплуатируется и имеет запас по прочности и долговечности, подтвержденный натурными испытаниями и работой в реальных условиях.

Для проведения процедуры анализа конструкции необходимо определить с каким максимальным давлением ступица рабочего колеса гидротрансформатора подает масло сквозь маслопроводы на обгонное колесо гидротрансформатора. Определение давления, а так же угловой скорости и развиваемых при этом усилиях будут является проверкой работоспособности конструкции в целом, позволит отслеживать изменения в указанных параметрах посредством изменения как технологии изготовления ступицы, так и внесения изменений в саму конструкцию детали.

Процесс решения при заданных граничных условиях занял 18 часов 57 минут непрерывной работы компьютера. Промежуточным результатом работы стали набор кривых, и вывод промежуточной расчетной информации в табличном виде в окне решателя

(Рисунок 1).

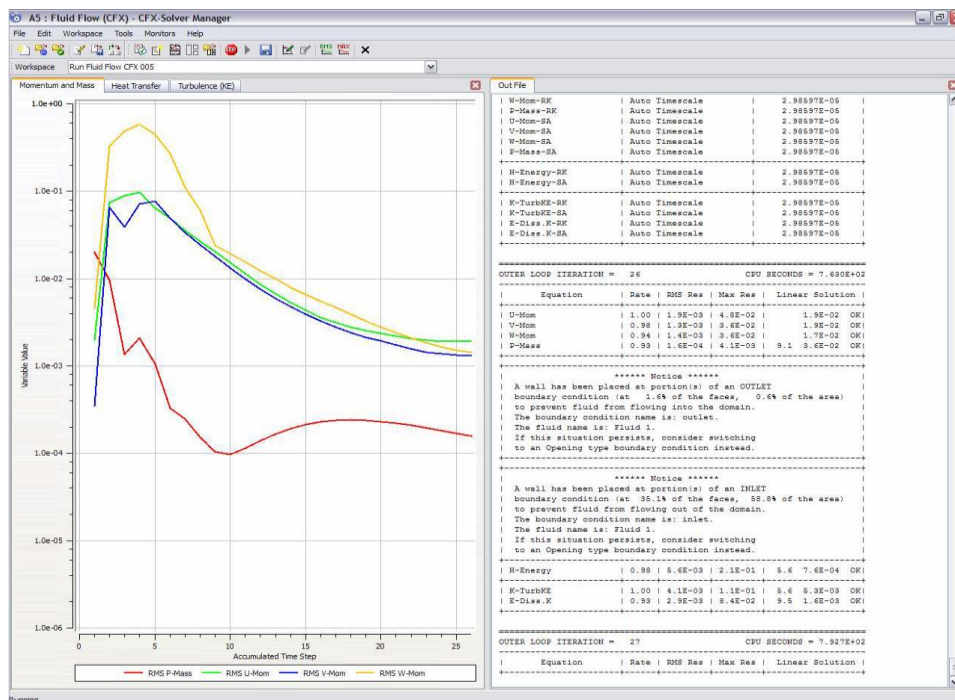


Рис. 1. Промежуточный этап расчета конструкции

Также необходимо в ручном режиме изменять максимальное давление. Это позволит проверить стабильную работу разработанного алгоритма, так как при задании определенного давления, которой гарантированно выведет из строя весь узел, работа решателя будет остановлена и выведено сообщение об ошибке, что позволит провести прямую зависимость от геометрических параметров, которые можно изменять, на реальные параметры работы.

Результаты проведенных исследований можно визуализировать для лучшей интерпретации полученных данных. Это позволит определить основные проблемы, возникающие при работе всего узла, тем самым давая возможность вносить изменения в геометрические параметры конструкции ступицы рабочего колеса или в технологию изготовления (Рисунок 2).

Список литературы:

1. Матвеев В.Н., Сулинов А.В. Проектный расчёт одноступенчатых и двухступенчатых автономных осевых турбин турбонасосных агрегатов ЖРД: учебное пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2011. - 85 с.
2. Филиппович, К. В. Идеология постпроцессирования в современных CAD/CAM-системах / К. В. Филиппович // Россия : ООО Евразия Лимитед, 2000 [Электронный ресурс]. - 2008. - Режим доступа : [http : // www.sapr2000.ru / pressa2.html](http://www.sapr2000.ru/pressa2.html).
3. Официальный сайт компании Siemens PLM Software, система NX6 (Unigraphics) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.plm.automation.siemens.com/ru_ru.

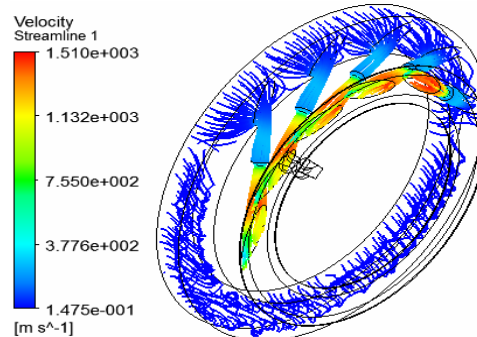


Рис. 2. Промежуточный этап процесса визуализации рассчитанных параметров

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНКИ БЫСТРОСЪЕМНОЙ НА ОСНОВЕ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

Е.А. Алфёрова, к.ф.-м.н., доц.,

У Хайян, студент гр. 4АМ01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: hayyan1@tpu.ru, alferova@tpu.ru

Качество деталей машин и сборочных единиц напрямую зависит от качества чертежей. Необходимо наличие согласованности между требованиями предъявляемыми к деталям и требованиями, указанными в сборочных чертежах. Несогласованность требований или ошибки в чертежах могут привести к невозможности сборки изделия. Для предотвращения подобных ситуаций на этапе проектирования конструкторской документации целесообразно проводить размерный анализ [1].

Настоящая научно-исследовательская работа посвящена размерному анализу роликового узла конвейерной ленты. При изготовлении деталей, входящих в сборку согласно чертежам на производстве возникала проблема - сборочный узел не собирался.

При производстве прессованных древесных плит используется ленточный конвейер. Он служит для передачи накопленных свободных древесных обрезков на следующий станок, для компактного прессования и нагрева с целью получения твердых древесных плит, которые могут быть использованы при производстве различной мебели (рис.1).

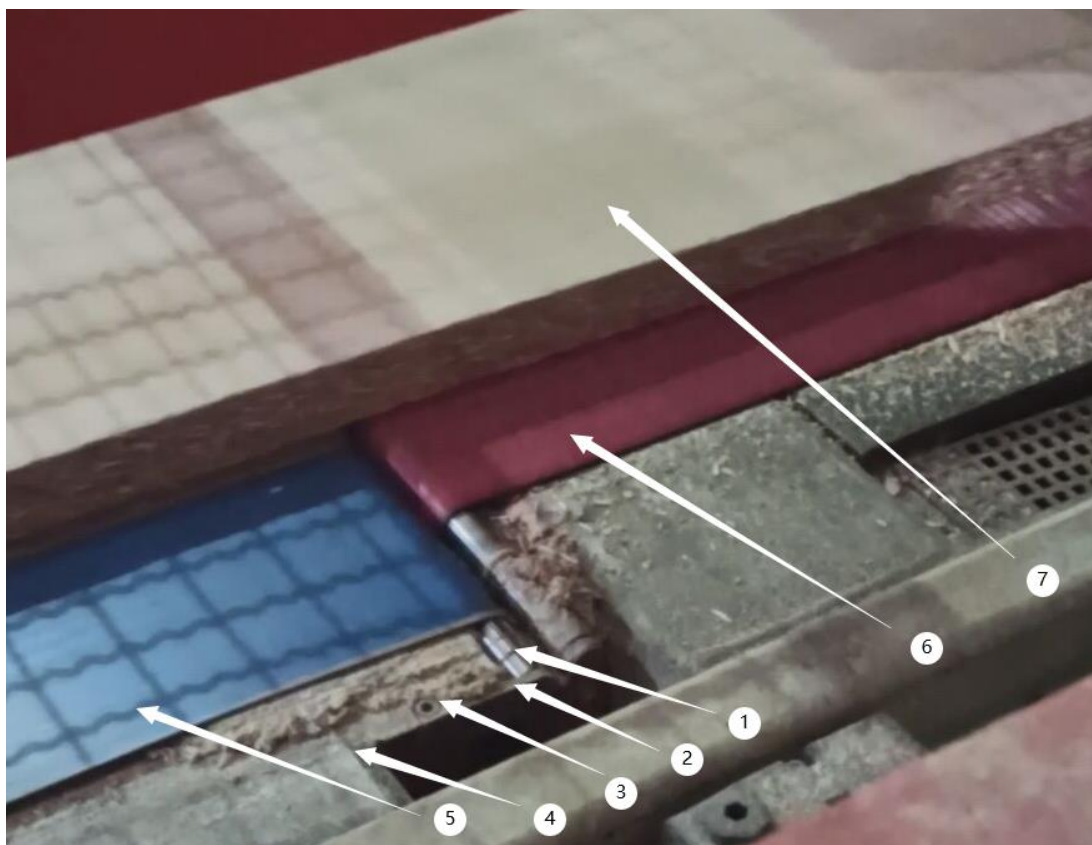


Рис.1. Конструкция детали.

1 – ролики; 2 – держатель ролика; 3 – быстросъемная планка; 4 – специальное устройство; 5, 6 – ремень; 7 – планка до работы.

XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения»

Ленточный конвейер должен иметь непрерывную и стабильную работу в течение длительного периода времени. Однако ремень не обладал требуемой производительностью из-за неправильных размеров ленточного конвейера, и ремень быстро изнашивался, рвался, имел выпуклости на поверхности. Кроме того, при изготовлении деталей по имеющимся чертежам держатели 2 на быстросъемной планке 3 не собираются.

В работе был проведен размерный анализа роликового узла конвейерной ленты в вертикальном и горизонтальном направлениях, были выявлены ошибки в размерах, предельных отклонениях, допусках на размеры, а также в требованиях к отклонению формы и расположению поверхностей.

Было установлено следующее:

- 1) На ремень влияют следующие факторы: форма ролика, соосность ролика, размеры.
- 2) Сборочные чертежи сделаны неправильно. Размеры и допуски не согласованы с размерами и допусками на рабочих чертежах деталей.
- 3) Оформление сборочных чертежей не соответствуют требованиям ЕСКД.
- 3) При установке не все держатели можно собрать из-за относительно больших допусков составляющих звеньев и большего количества составляющих в размерной цепи.
- 4) На чертежах держателей неверно назначены базовые поверхности.

В результате работы были:

- 1) Рассчитаны размеры, предельные отклонения и допуски для держателя и планки для достижения требуемых характеристик и обеспечения собираемости узла;
- 2) Предложены новые методы закрепления держателей ролика на быстросъемной планку;
- 3) Разработаны новые рабочие чертежи планки и держателя.
- 4) Откорректированы и приведены в соответствие с ЕСКД сборочные чертежи узла.

Список литературы:

1. Скворцов, В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов – Томск: Томский политехнический университет, 2009. – 91 с.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ
ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

В.И. Богданович, д.т.н., проф.,

М.Г. Гиорбелидзе, ст.преподаватель

С.В. Трясин, магистрант

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,
тел. 8(846)268-54-92*

E-mail: bogdanovich@ssau.ru; m.giorbelidze@ssau.ru

Производство современных деталей в различных областях машиностроения, особенно при производстве летательных аппаратов, задает высокие требования к качеству этих деталей. Данная задача решается разными путями, в том числе внедрением в технологические процессы новых технологий машинного обучения. За последние несколько лет возросла популярность использования машинного обучения для более раннего предупреждения возможных несоответствий и снижения расходов на создание продукции. К концу 2020 г. примерно 30 % развитых компаний промышленного сектора применяли подобные технологии с целью создания прогнозов поведения технологического процесса и своевременном проведении корректирующих мероприятий [1-2]. Большинство предиктивных моделей строятся на основе решения задач регрессии [1-2]. Линейная регрессия – модель зависимости переменной x от одной или нескольких других переменных с линейной функцией зависимости, является одной из задач регрессионного анализа и широко распространена в Data Science при построении предиктивных моделей машинного обучения. Наиболее популярным языком для написания подобных моделей является Python 3.

Одним из важных этапов при производстве широкого ряда ответственных деталей является процесс нанесения покрытия на заключительных этапах производства. Одним из наиболее востребованных методов нанесения покрытий является плазменный газотермический метод, который заключается в нанесении покрытия на поверхность изделия с помощью струи плазмы [3-7, 13-15]. Он включает в себя большое количество факторов, оказывающих влияние на качество и ключевые характеристики покрытия [3-15]. В высокотемпературную плазменную струю подаётся распыляемый материал, который нагревается, плавится [3-5, 13-15] и в виде двухфазного потока направляется на подложку [3-6, 8, 14]. При ударе и деформации происходит взаимодействие частиц с поверхностью основы или ранее напыленным материалом и формируется покрытие [8-12, 15]. В данном процессе рабочим инструментом выступает плазменная струя, которая и наносит покрытие на изделие. Она характеризуется рядом теплофизических и прочих параметров, которые использовались для прогнозирования свойств покрытия:

- 1) скорость истечения плазменной струи на срезе сопла плазмотрона;
- 2) Температура плазменной струи на срезе сопла;
- 3) количество теплоты, получаемой напыляемой частицей за время ее полета в плазменной струе.

Для построения предиктивной модели использовался модуль LinearRegression библиотеки Sklearn языка Python 3. Разработанная программа прошла апробацию по

прогнозированию среднemasсовой скорости истечения плазменной струи на срезе сопла плазмотрона. Выявлены и объяснены факторы, оказывающие влияние на конечный результат работы модели.

Список литературы:

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – Москва: Диалектика. – 2017. – 912 с.
2. Брандт З. Анализ данных. –Москва: Мир. –2003. –686 с.
3. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. М.: Наука и технологии, 2005. 456 с.
4. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. М.: Альфа-М, 2014. 925 с.
5. Соснин Н. А., Ермаков С. А., Тополянский П. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. –Санкт-Петербург: СПбПУ –2013. - 406 с.
6. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: Издательство МГТУ, 2003. 458 с.
7. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Main problems of mathematical modeling high energies plasma technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol.795. – Article number 012004.
8. Гиорбелидзе М.Г., Христосова В.Ю. Анализ результатов численного моделирования ударной деформации частиц при нанесении порошковых покрытий // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2019. – №2(98). – С.77-79.
9. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Development of mathematical model of disperse particle motion in the plasma flow in the field of boundary layer during plasma spraying // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1096(1). – Article number 012190.
10. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Calculation of residual stresses in plasma spray coatings taking into account the build-up process // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1368(4). – Article number 042079.
11. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of particle impact on a fixed surface in the formation of powder coatings // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1368(4). – Article number 042078.
12. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Determination of residual stresses in multi-layer plasma coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol.511. – Article number 12005
13. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical Model of Powder Material Particles Heating in Thermal Spraying // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol.769. – P. 336-345.
14. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of powder material motion and transportation in high-temperature flow core during plasma coatings application // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol.327. – Article number 022036.
15. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Analysis of the ceramic layer microstructure influence on plasma spray thermal barrier coating performance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol.286. – Article number 012008.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ДАВЛЕНИЕ ДУГИ ПРИ
АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

Гордынец А.С., к.т.н., доц.,

Киселев А.С., к.т.н., доц.,

Скрипко С.И., аспирант

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: sis9@tpu.ru

Дуговая сварка неплавящимся электродом в среде аргона является одним из способов соединения деталей малых размеров. Для получения качественного сварного шва необходимо задавать параметры режима сварки такие как: величина и время протекания сварочного тока, тип неплавящегося электрода, размер и угол заточки его рабочей части, расход защитного газа и т.п. Большинство этих параметров оказывает влияние на давление сварочной дуги, которое в свою очередь определяет ее проплавляющую способность и пространственную устойчивость [1].

В специальной литературе приведены сведения о влиянии параметров режима при дуговой сварке неплавящимся электродом в среде инертных газов на давление сварочной дуги в установившемся режиме [1,2]. Однако нет данных о динамике давления дуги в период ее существования. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению влияния величины тока дуги ($I=20...200$ А), диаметра неплавящегося электрода (1,0; 1,6; 2,4 мм) и угла заточки (30° ; 60° ; 90°) его рабочей поверхности на давление дуги в начальный и последующий период ее горения.

Исследования проводили на специальной установке, которая позволяет осуществлять бесконтактное зажигание дуги, задавать полярность её горения и регулировать величину тока с дискретностью 1 А в диапазоне 0...200 А. В процессе сварки проводили осциллографирование величины тока и давления дуги (Рис. 1).

В качестве катода использовали вольфрамовый пруток марки WL20, а анода – медную пластину с отверстием \varnothing 1 мм соосно с рабочей поверхностью электрода для измерения давления дуги. В качестве защитного газа был использован аргон, расход которого задавали равным 5 л/мин. Расстояние между электродом и медной пластиной было равным 1,0 мм.

Результаты исследования представлены на рис. 2 из которых следует, что при изменении сварочного тока, в диапазоне 20...200 А, максимальное давление дуги (P_{max}) значительно возрастает и достигает значения 4 кПа. Отмечено, что значение максимального давления дуги для электродов диаметром 1,0 и 1,6 мм достигает при угле заточки его рабочей поверхности 60° и спадает при изменении угла рабочей поверхности электрода до 30° или 90° . При использовании электрода диаметром 2,4 мм максимальное давление дуги уменьшается при увеличении угла заточки рабочей поверхности в диапазоне от 30° до 90° .

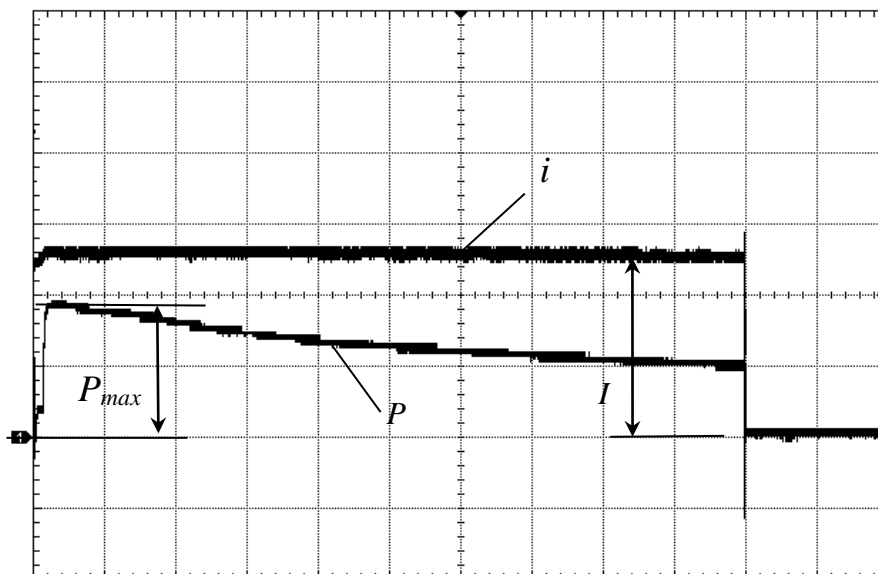


Рис. 1. Осциллограмма тока ($\mu_i=50$ А/дел.) и давления дуги ($\mu_p=1$ кПа/дел.,) ($\mu_t=20$ мс/дел.).

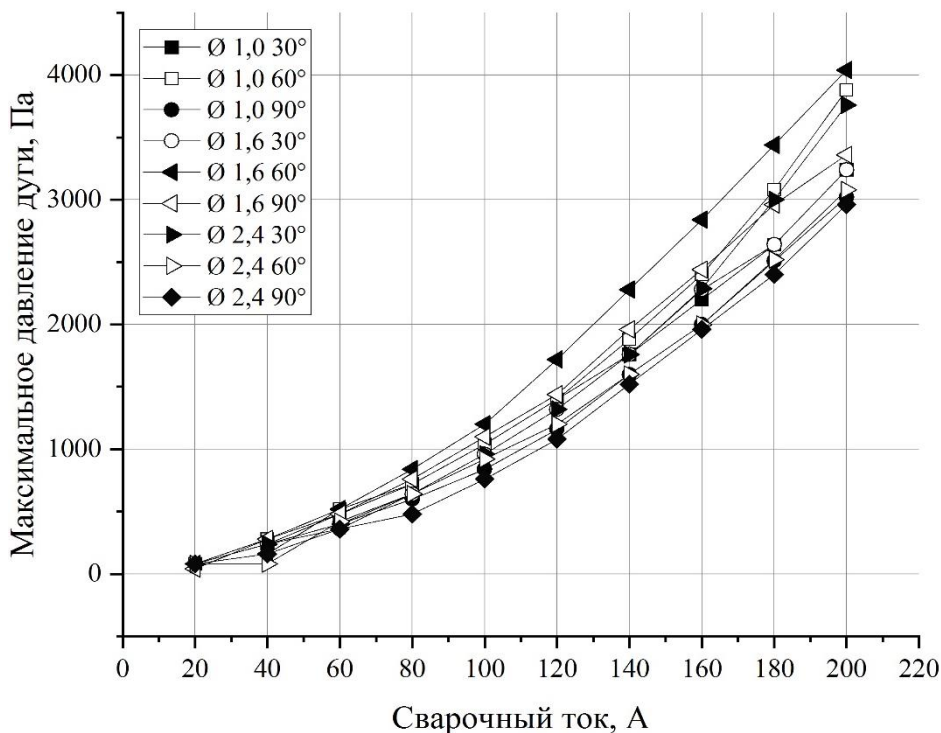


Рис. 2. Влияние величины тока, диаметра электрода и угла заточки его поверхности на давление дуги.

Список литературы:

1. de Simas Asquel, G. Effect of welding variables on GTAW arc stagnation pressure / Bittencourt, A.P.S. & da Cunha, T.V. // Weld World – 2020 – Vol 64 – P.1149–1160.
2. Hirioka K. Effect of electrode geometry on maximum arc pressure in gas tungsten arc welding / Okada A., Inagaki M. // Transactions of national research institute for metals – 1986 – Vol 28, № 1 – P.63-70.

ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,
А. Даурембеков, магистрант гр. 4АМ01;
М. Ци, аспирант гр. А1-21,
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389
E-mail: kozlov-viktor@bk.ru*

Под обрабатываемостью чаще всего понимают интенсивность износа режущего инструмента (или рациональная скорость резания при рациональной стойкости инструмента, часто это 20-40 минут) и качество обработанной поверхности.

Обрабатываемость большинства титановых сплавов плохая и зависит от многих факторов: химического состава, структуры, твердости, метода получения исходной заготовки и её подготовки для дальнейшей лезвийной обработки. Обрабатываемость α - или даже α - β -сплавы сравнимы по обрабатываемости, однако обрабатываемость β - и псевдо- β - сплавов существенно хуже [1]. Основными проблемами при резании титановых сплавов являются следующие факторы:

- интенсивное тепловыделение в зоне стружкообразования приводит к чрезмерному адгезионному износу режущей кромки с её округлением до радиуса $\rho = 0,1 \dots 0,5$ мм и образованием фаски износа на задней поверхности длиной $h_z = 0,2 \dots 0,5$ мм [2, 3, 4]. Интенсивный износ по передней поверхности приводит к быстрому увеличению лунки износа с уменьшением прочности режущего клина, появлению отрицательного переднего угла γ до -30° ;

- низкая теплопроводность приводит к плохой теплопередаче и замедленной теплоотдаче, что существенно увеличивает действие первого пункта;

- низкий модуль упругости приводит к более существенному восстановлению поверхности резания после прохода под режущей кромкой, что способствует увеличению нормальных контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности [1, 2, 3, 4], появлению вибрации, что в целом ухудшает точность обработки и качество обработанной поверхности.

Все эти факторы значительно сокращают срок службы инструмента и отрицательно влияют на производительность, т.к. скорость резания труднообрабатываемых групп титановых сплавов порой в несколько раз меньше скорости резания незакалённой конструкционной стали. Обрабатываемость титанового сплава различных групп титановых сплавов наглядно представлена на рис. 1 [1].

При фрезеровании заготовок из титанового сплава стараются использовать наиболее эффективную технологию, или схему, фрезерования. Технологию фрезерования определяет траекторию движения инструмента и отношение «осевая глубина резания (ap) – радиальная глубина резания (ae)» [1]. При этом применяемые термины в справочнике [1] соответствуют следующим применяемым в России терминам при концевом фрезеровании: осевая глубина резания ap – это ширина фрезерования B ; радиальная глубина резания ae – это глубина резания t .



Рис. 1. Обрабатываемость групп титанового сплава

При выборе подходящей стратегии обработки учитываются следующие моменты:

1. Вращающаяся фреза контактирует обработанной деталью по дуге, измеряемой углом зацепления AE (что соответствует также символу ψ – **центральный угол контакта**) (рис. 2). Уменьшение этой дуги вследствие уменьшения глубины резания ae

сокращает тепловую нагрузку на режущую кромку фрезы, уменьшается промежуток времени резания и увеличивается время для ее охлаждения. Меньшее тепловыделение снижает риск закалки титана во время обработки.

2. Из-за вышеупомянутых факторов уменьшение ae позволяет увеличить скорость резания V_c . На рис. 3 показан график зависимости V_c от угла зацепления и отношения глубины резания ae к диаметру концевой фрезы d , т.е. ae/d , при фрезеровании паза ($ae/d = 1$) или уступа в заготовке из Ti-6Al-4V различными методами [1].

3. Значительная удельная сила резания обработке титановых сплавов, особенно труднообрабатываемых, приводит к высокой нагрузке на режущую кромку. Малый модуль упругости E , т.е. как бы «пружинистость», титанового сплава усиливает вибрации, особенно при черновом фрезеровании с большими припусками. Эффективное резание в таких условиях обеспечивается высокой жесткостью всей технологической системой и уменьшение вылета концевой фрезы имеет решающее значение. Это приводит к необходимости использования нескольких фрез с разными вылетами для фрезерования высокого уступа или глубокого паза.

4. Подача охлаждающей жидкости под высоким давлением может значительно повысить эффективность фрезерования, но часто это недопустимо из-за осаждения ингредиентов СОЖ на стружке, что делает невозможным её вторичную переработку.

Список литературы:

1. Справочное руководство ISCAR. Обработка титана. Электронный ресурс: https://www.iscar.ru/Catalogs/publication-2019/machining_titanium_rus_metric.pdf.
2. Che-Haron, C.H. Tool life and surface integrity in turning titanium alloy. Journal of Materials Processing Technology, 118 (1-3) (2001) 231-237.
3. Полетика М.Ф., Афонасов А.И. Контактные условия на задней грани инструмента при элементном стружкообразовании. Сб. статей "Прогрессивные технологические процессы в машиностроении". -Томск, 1997, с. 14-17.
4. Kozlov V.N, Gerasimov A.B, Kim A.B. Distribution of contact loads over the flank-land of the cutter with a rounded cutting edge (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, vol. 124) [012173].

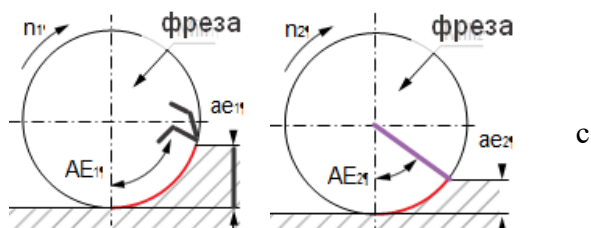


Рис. 2. Дуга контакта AE_1 и AE_2 при различной глубине резания ae

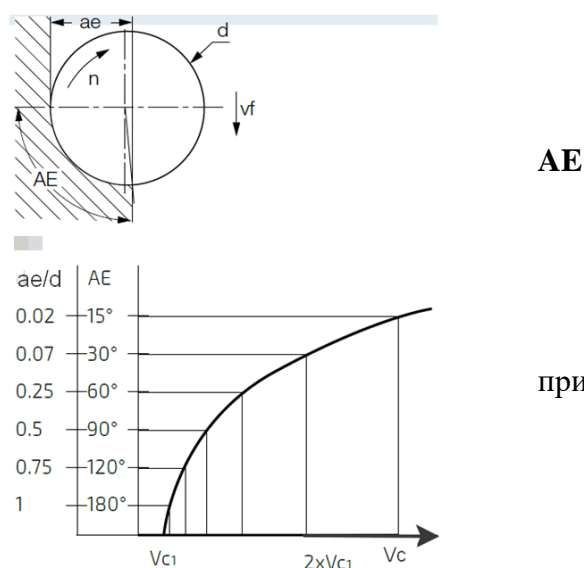


Рис. 3. Влияние длины дуги контакта AE и соотношения ae/d на скорость резания V_c

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,
Л. Хе, магистрант гр. 4АМ01;
А. Ян, магистрант гр. 4АМ01;
М. Ци, аспирант гр. А1-21,*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389*

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru

Для расчёта режущих инструментов на прочность необходимо знать составляющие силы резания [1]. Их измерение требует использование динамометра, которых на производстве обычно нет, а расчёт сил по эмпирическим формулам, опубликованным в справочниках, в отдельных случаях имеет погрешность до 50% [1].

При изучении процессов фрезерования приходится рассматривать изменение сил резания от толщины среза a , т.е. $P_i = f(a_i)$, т.к. в процессе резания при повороте зуба фрезы на угол ψ_i (°) относительно начальной точки врезания в заготовку происходит изменение толщины среза при неизменной подаче на зуб s_z (мм/зуб) и постоянной ширине фрезерования B (мм) и глубине резания t (мм). При встречном фрезеровании можно рассчитать толщину среза при любом положении зуба фрезы по формуле $a_i = s_z \cdot \sin \psi_i$ (мм), а значит рассчитать и составляющие силы резания. Поэтому лучше рассматривать более универсальную величину, т.е. толщину среза a (мм), а не подачу s (мм/об), характерную только для токарной обработки.

Расчёт составляющих силы резания может быть выполнен более просто с использованием величины удельной силы резания

$$q_P = P/(a \cdot b) \approx P/(t \cdot s),$$

где a – толщина среза (мм), рассчитываемая по формуле $a = s \cdot \sin \varphi$; b – ширина среза (мм), рассчитываемая по формуле $b = t / \sin \varphi$; φ – главный угол в плане (°); s – продольная подача (мм/об); t – глубина резания (мм).

Использование удельной силы резания позволяет рассчитать силу резания для любой подачи и глубины резания исследованного диапазона величины переднего угла, подачи и глубины резания, при знании длины контакта главной режущей кромки с заготовкой b (мм).

Для расчёта физических составляющих силы резания на передней поверхности сменных многогранных пластин (СМП), которыми оснащаются большинство режущих инструментов [3], используются технологические составляющие силы резания: тангенциальная составляющая P_z , которая совпадает по направлению с вектором скорости резания v , а также составляющая P_{xy} , которая является результирующей векторов: осевой P_x и радиальной P_y составляющих силы резания, – которая рассчитывается по формуле $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$.

В некоторых случаях используется другое определение удельной силы резания: как отношение силы P (Н) к длине контакта главной режущей кромки резца с заготовкой, или к ширине среза b (мм), т.е. линейной удельной силы резания $q_{P_{\text{лин}}} = P/b$ (Н/мм). В этом случае строятся графики зависимости линейной удельной силы резания $q_{P_{xy \text{ лин}}} = P_{xy}/b$ и $q_{P_z \text{ лин}} = P_z/b$ (Н/мм) от величины переднего угла γ при выбранной толщине среза a (рис. 1). На этих рисунках можно выделить два участка, на каждом из которых имеется своя интенсивность увеличения сил при уменьшении переднего угла γ : **первый** от $+35^\circ$ до 0° и **второй** от 0° до -30° .

Линейные удельные силы резания несущественно увеличиваются при уменьшении главного переднего угла от $+35^\circ$ до 0° (особенно $q_{P_z \text{ лин}}$), но уменьшение переднего угла 0° до -30° приводит к значительному увеличению этих сил. Это связано с неблагоприятными условиями образования стружки при отрицательном переднем угле, когда стружка должна

изменить направление своего движения практически на противоположное от направления скорости резания, что вызывает бóльшую пластическую деформацию в первичной зоне пластических деформаций [2].

Линейная удельная сила $q_{P_{xy}} \text{ лин}$ (Н/мм) и $q_{P_z} \text{ лин}$ (Н/мм)

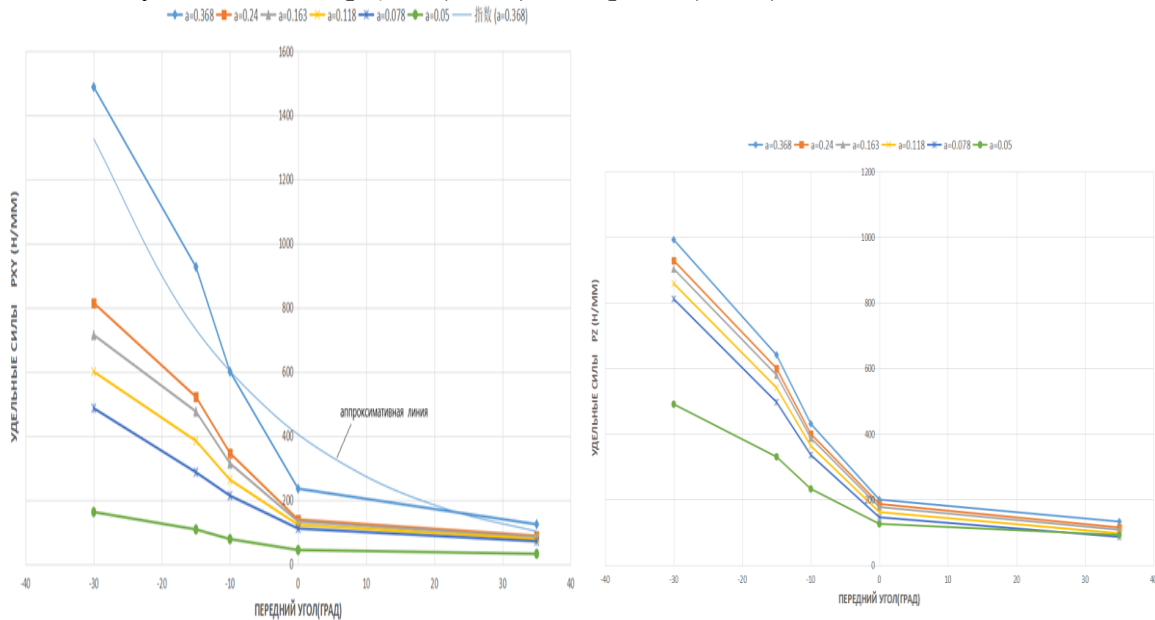


Рис. 1. Влияние переднего угла γ ($^\circ$) на **линейную** удельную силу $q_{P_{xy}} \text{ лин}$ (а) и $q_{P_z} \text{ лин}$ (Н/мм) (б) в зависимости от толщины среза a (мм)

Для толщины среза $a = 0,368$ мм график $q_{P_{xy} \text{ лин}} = f(a)$ может быть описан одним уравнением для обоих участков: $q_{P_{xy} \text{ лин}} = 600 + 6,28 \cdot \gamma + 0,197 \cdot \gamma^2$ (Н/мм).

График $q_{P_z \text{ лин}} = f(a)$ для толщины среза $a = 0,368$ мм может быть описан двумя уравнениями: для диапазона от $\gamma = 0^\circ$ до $\gamma = +35^\circ$ **аппроксимирующим** уравнением $q_{P_z} = -8,045 \cdot \gamma + 772,375$ (Н/мм), а для диапазона от $\gamma = -30^\circ$ до $\gamma = 0^\circ$ другим уравнением $q_{P_z} = -4,45 \cdot \gamma + 859,6$ (Н/мм).

Удельные силы резания $q_{P_{xy} \text{ лин}}$ (рис. 1 б) даже у неизношенного по задней поверхности резца меньше $q_{P_z \text{ лин}}$ (рис. 1 а), за исключением толщины среза $a = 0,368$ мм: при $\gamma = -30^\circ$ она примерно в 1,5 раза больше. При толщине среза $a = 0,05$ мм удельная сила резания $q_{P_{xy} \text{ лин}}$ существенно меньше $q_{P_z \text{ лин}}$: в диапазоне переднего угла от 0° до -30° она отличается почти в 3 раза. Это говорит о существенном уменьшении коэффициента трения из-за ухудшении теплоотвода при небольшой толщине стружки и вызываемой этим явлением увеличением температуры в контактном слое [2].

Список литературы:

1. Расчёт режущих пластин при обработке сталей / Хэ Лин, Ян Анькан, Чжоу Вэньсуань, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов сборник докладов I Международной научно-практической конференции, Томск, 27-29 апреля 2021 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Школа базовой инженерной подготовки. — 2021. — Т. 1. — [С. 273-280].
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. — Москва: Машиностроение, 1969. — 148 с.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА И СИЛ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНУЮ РЕЖУЩУЮ КРОМКУ СМП НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,
Л. Хе, магистрант гр. 4АМ01,
М. Ци, аспирант гр. А1-21,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru

В связи с большим влиянием распределения контактных напряжений на результаты расчёта напряжённо-деформированное состояние (НДС) режущего клина необходимо использовать эпюры с реальным распределением [1].

Экспериментальное изучение распределения контактных напряжений очень трудоёмко и требует специальных дорогостоящих приборов, поэтому была разработана методики их расчёта. За основу расчёта параметров эпюр взяты свойства эпюры касательного контактного напряжения τ (МПа), которая имеет простой вид (рис. 1 б) и поэтому её параметры могут быть рассчитаны по уравнению

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b_c),$$

где τ_{const} – величина τ на первом участке этой эпюры (МПа); F – касательная сила на передней поверхности режущего инструмента (Н) с учётом переднего угла γ (°); b_c – ширины контакта стружки с передней поверхностью резца, зависящая от глубины резания t ($b_c \approx t / \sin \varphi$) (мм).

Касательная сила F рассчитывается исходя из технологических сил резания по формуле (см. рис. 1 а):

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma, \quad (1)$$

где P_{xy} – результирующая радиальной P_x и осевой P_y сил, действующих в основной плоскости $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{0,5}$; P_z – тангенциальная составляющая силы резания; γ – главный передний угол.

Длина контакта c стружки может быть измерена экспериментально или определена по нашим графикам, которые показывают изменение c (мм) в зависимости от переднего угла γ (рис. 2) и толщины среза a (мм): $a = s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об); φ – главный угол в плане.

Уравнение для графика зависимости длины контакта стружки с передней поверхностью СМП от переднего угла γ , т.е. $c = f(\gamma)$, при аппроксимации прямой линией для **толщины среза $a = 0,368$ мм:**

$$c = 1,907 - 0,011 \cdot \gamma. \quad (2)$$

Тогда при $\gamma = -10^\circ$ $c = 2,017$ мм, при $\gamma = 0^\circ$ $c = 1,797$ мм, при $\gamma = 10^\circ$ $c = 1,797$ мм.

На участке пластического контакта стружки с передней поверхностью длиной $c_1 \approx 0,5 \cdot c$ (мм) величина τ постоянна, т.е. $\tau = \text{const}$ (рис. 1 б); на второй части длины контакта стружки τ практически прямолинейно уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности.

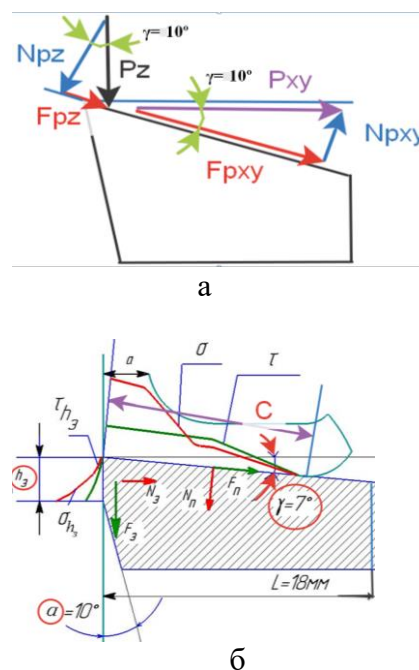


Рис. 1. Составляющие силы резания, действующие на передней поверхности при **положительном** переднем угле γ (а), и распределение контактных напряжений на

Построение эпюры нормальных контактных напряжений σ (МПа) выполняется относительно эпюры касательных контактных напряжений τ (МПа). В основе лежит закономерность изменение условного коэффициента трения $\mu = \tau/\sigma$ вдоль передней поверхности, которая мало зависит от режимов резания [2].

Особенности конфигурации нормальных контактных напряжений σ , определённых экспериментально [1], позволяют её построить после расчёта нормальной силы на передней поверхности инструмента N по уравнению:

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma. \quad (3)$$

Вышеуказанные уравнения получены при положительном переднем угле γ . При его отрицательной величине используются немного другие уравнения, полученные из рис. 2:

$$N = N_{Pz} + N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma + P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (4)$$

$$F = F_{Pxy} - F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (5)$$

Непосредственно у режущей кромки нормальные контактные напряжения имеют наибольшую величину σ_{\max} (рис. 1 б). В первом приближении $\sigma_{\max} \approx 2 \sigma_v$, где σ_v – это временное сопротивление разрыву (МПа). В дальнейшем величина σ_{\max} корректируется таким образом, чтобы нормальная сила $N_{\text{эп}}$ (Н), рассчитанная по объёму эпюры σ , была равна нормальной силе, определённой по экспериментальным данным $N_{\text{эксп}}$ (Н), т.е.

$$N_{\text{эп}} = b \times \int_0^c \sigma i \times dx \approx N_{\text{эксп}} \quad (6)$$

При относительной длине контакта стружки $\psi = x_i/c \approx 0,4$, т.е. при $x = 0,4 \cdot c$ будет пересечение графика σ с графиком τ , т.к. в этой точке условный коэффициент трения $\mu = 1$, то есть там $\sigma = \tau$ (см. рис. 1 б). В конце контакта стружки с передней поверхностью инструмента при $\psi \approx 0,8$ (т.е. при $x \approx 0,8c$) должно быть $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$. На расстоянии от режущей кромки $l_1 \approx a$ (мм) величина $\sigma_{l1} \approx 0,93 \cdot \sigma_{\max}$.

По рассчитанным точкам строим эпюру σ и корректируем её, изменяя на участке от режущей кромки до $x_i = 0,4 \cdot c$, чтобы соблюдалось равенство (6).

Для этого рассчитываем площадь эпюры σ : $S_\sigma = \sum S_i$ (МПа/мм) (рис. 2). Нормальная сила по эпюре σ $N_\sigma = S_\sigma \times b$ (Н) должна быть равна нормальной силе по экспериментальным данным $N_{\text{эксп}}$ (Н).

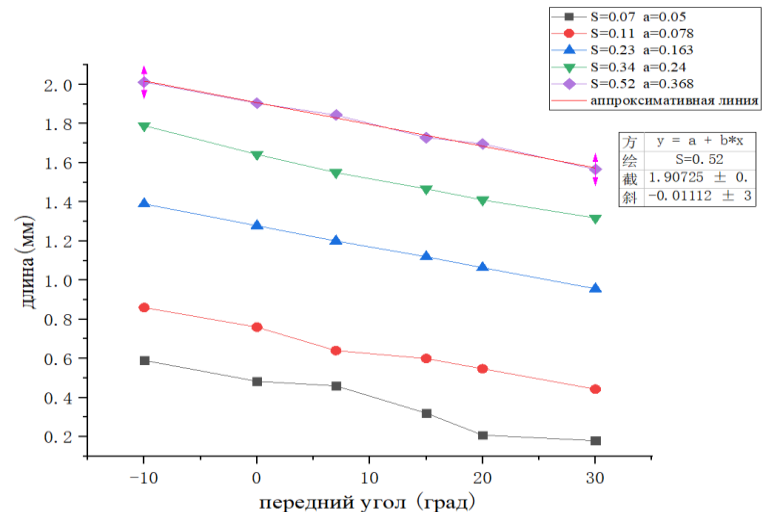


Рис. 2. Графики изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) при $\phi = 45^\circ$

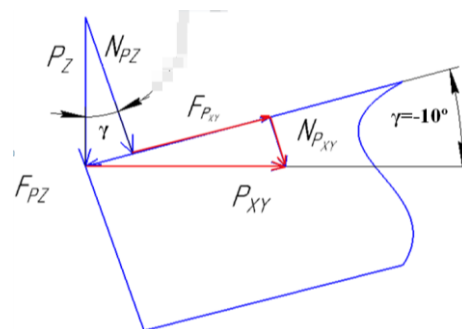


Рис. 2. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости при отрицательном переднем угле γ .

Приложение реального распределения контактных напряжений на переднюю поверхность моделей реза позволило рассчитать распределение напряжений в режущем клине СМП с использованием программы ANSYS (рис. 3).

При черновой токарной обработке основная нагрузка приходится на участок, расположенный у главной режущей кромке. Но силы на вспомогательной режущей кромке приводят к изменению напряжённого состояния, поэтому нами было исследована степень влияния этих сил на НДС СМП с $\varphi = 90^\circ$ при нагрузке главной режущей кромки в 100, 90 и 80 % от общей силы резания. Считалось, что распределение контактных напряжений на передней поверхности у вспомогательной режущей кромке такое же, что и у главной режущей кромке.

По результатам расчётов были построены графики влияния переднего угла и доли силы резания на главной режущей кромке (рис. 4).

Исследования показали, что в 3-гранных СМП с увеличением доли нагрузки на **вспомогательной** режущей кромке величина наибольшего эквивалентного напряжения в 3-гранных СМП начинается **увеличиваться** по сравнению с вариантом, когда вся нагрузка приходится только на главную режущую кромку.

При **увеличении переднего угла** величина наибольшего эквивалентного напряжения в 3-гранных СМП **уменьшается** во всех случаях.

Список литературы:

1. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Определение параметров эпюр контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента при обработке стали / Ц. Чжао, В. Н. Козлов, Ц. Ю, М. Ци // Современные проблемы машиностроения сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 26-30 октября 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. Е. Н. Пашкова. — Томск : Томский политехнический университет, 2020. — [С. 144-145].

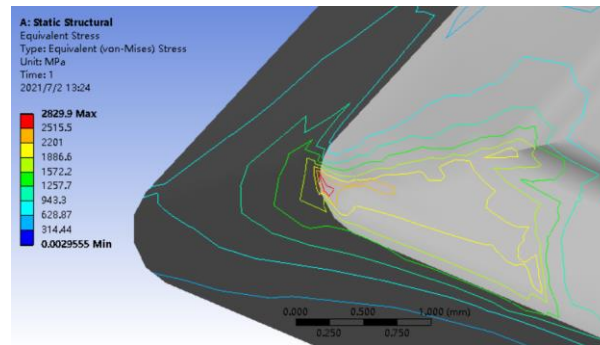


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ в 3-гранной СМП при нагрузке по главной режущей кромке 90%, по вспомогательной режущей кромке 10%. Сталь 40X – Т15К6. $\gamma = -10^\circ$. $s=0,368$ мм/об, $c = 2,02$ мм, ширина среза $b = 2$ мм. $F=1196$ Н, $N=2020$ Н. $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 2830$ МПа

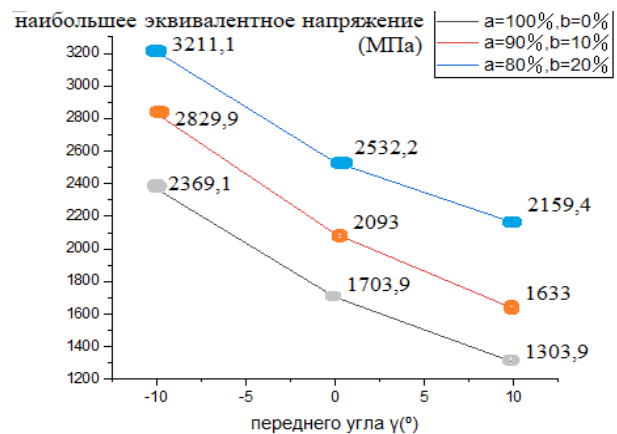


Рис. 4. Влияние доли нагрузки на главной (a) и вспомогательной (b) режущей кромки (%) и переднего угла γ (°) на величину наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ max}}$ (МПа) в 3-х гранных СМП

НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ КВАДРАТНЫХ СМП НА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,
А. Ян, магистрант гр. 4АМ01;
М. Ци, аспирант гр. А1-21,*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389*

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru

На производстве широкое распространение получили квадратные сменные многогранные пластины (СМП) в связи с возможностью использовать четыре вершины, очень просто обтачивать фаску под 45° (рис. 1 а). Такие пластины имеют исходный рациональный главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, который способствует увеличению стойкости и прочности СМП в отличие от трёхгранных пластин (рис. 1 б).

Разновидность трёхгранных пластин часто называют шестигранными (рис. 1 в) из-за особенности их конструкции, но они имеют всего лишь три вершины, используемые при обработке. У таких

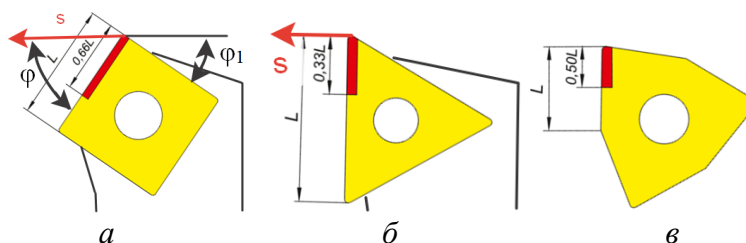


Рис. 1. Квадратные (а) и трёхгранные СМП (б и в)

СМП вспомогательный угол в плане φ_1 меньше, что увеличивает их прочность и стойкость, уменьшает шероховатость обработанной поверхности.

У резцов с отогнутой головкой наличие угла в плане $\varphi = 45^\circ$ при обточке торца с **поперечной** подачей позволяет получить главный угол в плане такой же величины, т.е. $\varphi = 45^\circ$, несмотря на изменение направления подачи на 90° . Однако квадратные пластины имеют вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 45^\circ$, большая величина которого уменьшает прочность режущего инструмента в отличие от рационального, с точки зрения прочности и получения малой шероховатости обработанной поверхности, угла $\varphi_1 = 10 \dots 15^\circ$.

Квадратные СМП позволяют обрабатывать заготовки с большими подачами по сравнению с трёхгранными, но требуется определить напряжённо-деформированное состояние (НДС) этих СМП, чтобы оценить запас прочности при увеличенной подаче и рассчитать предельно допустимую подачу с точки зрения прочности инструмента.

Для расчёта НДС режущего инструмента необходимо использовать эпюры с реальным распределением контактных напряжений [1]. Характер распределения контактных напряжений на передней поверхности, полученные разными исследователями независимо друг от друга с помощью метода разрезного резца [2], и выявленные особенности их построения [2, 3], позволяют построить эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений (МПа) по измеренным или рассчитанным технологическим составляющим P_z , P_y и P_x (Н) силы резания [3]. По технологическим составляющим силы резания необходимо рассчитать физические составляющие – нормальную N и касательную F , действующие на передней поверхности, с учётом переднего угла γ .

Для построения эпюр необходимо знать длину контакта стружки с передней поверхностью s (мм), которую можно измерить или определить по экспериментально полученным графикам [3].

Расчёты НДС квадратных СМП с использованием программы ANSYS показали, что при достаточно большой продольной подаче $s = 0,52$ мм/об при переднем угле $\gamma = +10^\circ$ и длине

контакта по главной режущей кромке $b = 2$ мм наибольшее эквивалентное напряжение σ_3 не превышает 952 МПа (рис. 2).

При уменьшении переднего угла γ до отрицательной величины $\gamma = -10^\circ$ наибольшее эквивалентное напряжение σ_3 увеличивается почти в 1,5 раза – до 1451 МПа (рис. 3).

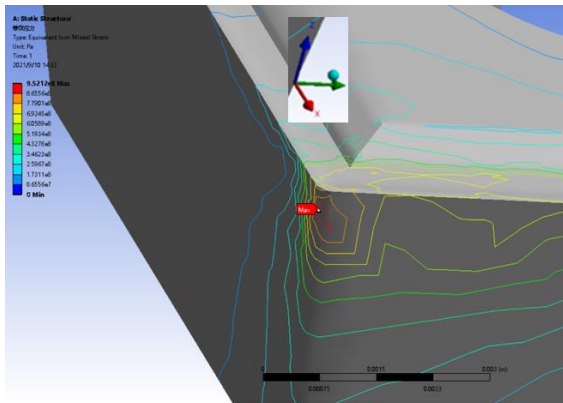


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений в квадратных СМП без износа при нагрузке по передней поверхности только у главной режущей кромки. Сталь 40Х – Т15К6, $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 45^\circ$, $\gamma = +10^\circ$, $s = 0,52$ мм/об, $c = 1,84$ мм, $b = 2$ мм, $\sigma_{3 \max} = 952$ МПа

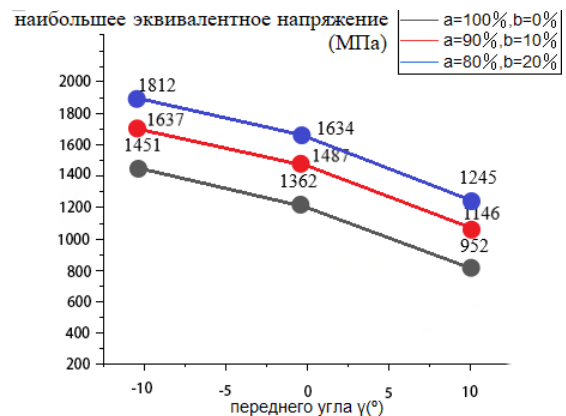


Рис. 3. Влияние доли нагрузки на главной (a) и вспомогательной (b) режущей кромки (%) и переднего угла γ ($^\circ$) на величину наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{экв max}}$ (МПа) в квадратных СМП

При черновой токарной обработке основная нагрузка приходится на участок, расположенный у главной режущей кромке. Но силы на вспомогательной режущей кромке приводят к изменению напряжённого состояния, поэтому нами было исследована степень влияния этих сил на НДС СМП с $\phi = 45^\circ$ при нагрузке главной режущей кромки в 100, 90 и 80% от общей силы резания. Считалось, что распределение контактных напряжений на передней поверхности у вспомогательной режущей кромке такое же, что и у главной режущей кромке.

Приложение контактной нагрузки к вспомогательной режущей кромке существенно увеличивает наибольшее эквивалентное напряжение σ_3 (рис. 3). Так при $\gamma = +10^\circ$ происходит увеличение до 1145...1245 МПа при разной доле силы резания, приходящейся на вспомогательную режущую кромку. Это показывает, что при расчёте НДС режущего инструмента необходимо учитывать нагрузку со стороны вспомогательной режущей кромки и с увеличением подачи она увеличивается.

Список литературы:

1. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. с. 352-356.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Определение параметров эпюр контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента при обработке стали / Ц. Чжао, В. Н. Козлов, Ц. Ю, М. Ци // Современные проблемы машиностроения сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 26-30 октября 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. Е. Н. Пашкова. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. с. 144-145.

**КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ОБРАТНОГО ВАЛИКА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ**

П.П. Красиков, зав. лабораторией,

А.В. Савинов, д.т.н., проф.

А.А. Чудин, к.т.н., ст. преподаватель,

О.А. Полесский, к.т.н., доц.

Л.С. Красикова, студентка

Д.А. Муругов, аспирант

Волгоградский Государственный Технический Университет,

400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. (8442)-24-80-18

E-mail: svaka-nv@vstu.ru

Данные работ [1-5] свидетельствуют, что форма шва, в соответствии с рассмотренными схемами статического равновесия определяется условиями равновесия сил, действующих на сварочную ванну, а именно: силы тяжести, давления дуги, поверхностного натяжения.

При необходимости, изменение поверхностного натяжения со стороны корня придает дополнительный импульс силы, предотвращающий прожог или протекание. На формирование шва одновременно с этими факторами значительное воздействие оказывают поперечные сварочные деформации свариваемых кромок. С другой стороны, изменение размеров сварочной ванны (длины и ширины), радиусов кривизны свободных поверхностей расплавленного металла, кривизны поверхности по длине сварочной ванны, приведет к нарушению статического равновесия и изменению основных размеров швов, выполненных односторонней сваркой на весу.

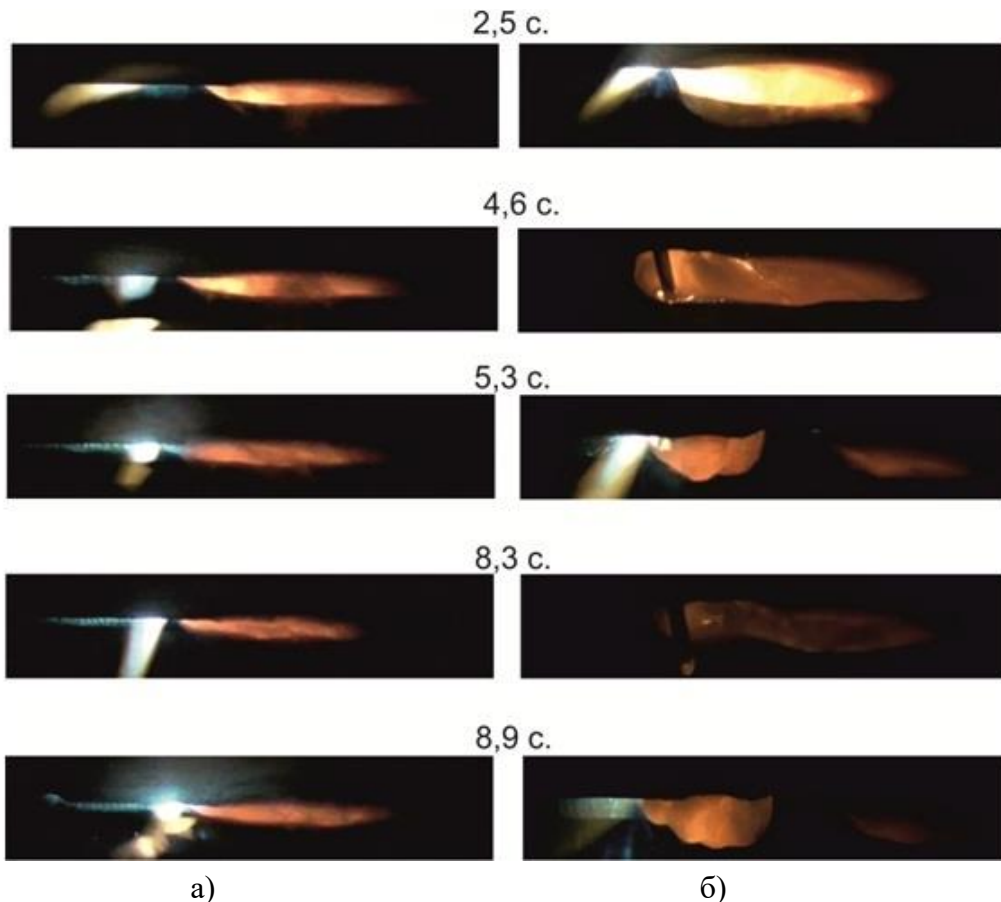


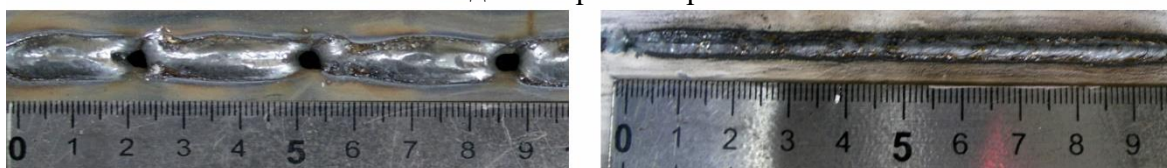
Рис.1. Кинетика образования обратного валика с Al_2O_3 (а) и без него (б): $I_{св} = 270$ А; $U_{д} = 29$ В; $V_{св} = 34$ м/ч; $d_{п} = 1,2$ мм; $V_{п.п.} = 8$ м/мин; защитный газ 82%Ar+18%CO₂

Изучение кинетики формирования корня шва при автоматической сварке плавящимся электродом в смеси защитных газов без применения флюс-паст (рис. 1, б) показало, что на предельном режиме, при котором нарушается формирование корневого шва, наблюдается чрезмерное увеличение ширины обратного валика во время действия дуги. Из-за этого увеличения площади поверхности контакта расплавленный металл – воздух при неизменном поверхностном натяжении металла увеличивает провисание сварочной ванны. Вследствие этого произойдет увеличение дугового промежутка, повышения расплавления сварочной проволоки и рост массы сварочной ванны (рис. 2, а). Это увеличение объема происходит до того момента, когда размер ванны становится критическим и она вытекает из разделки кромок, в результате чего образуются прожоги. После этого дуга возбуждается вновь и все этапы образования критического объема сварочной ванны повторяются (рис.1, б; 2, а). В случае использования флюс-пасты, состоящей из Al_2O_3 , при сварке на аналогичных режимах отмечается допустимое провисание сварочной ванны и бездефектное формирование как лицевой, так и обратной стороны корневого шва (рис. 1, а, 2, б).

Вид лицевой стороны шва



Вид со стороны корня шва



а)

б)

Рис. 2. Вид корня шва после сварки с однокомпонентной флюс-пастой, состоящей из Al_2O_3 (б) и без нее (а): $I_{св.} = 270$ А; $U_{д} = 29$ В; $V_{св.} = 34$ м/ч; $d_{зл.} = 1,2$ мм; $V_{п.п.} = 8$ м/мин; защитный газ 82%Ar+18%CO₂

Список литературы:

1. Тюльков М.Д. Роль сил поверхностного натяжения на формирование корня стыкового шва // Сварочное производство. – 1957. – № 9. – С. 68-82.
2. Ерохин А.А., Ищенко Ю.С. Особенности расчета кривизны ванны и сил поверхностного натяжения при сварке // Физика и химия обработки металлов. – 1967. – № 1. – С. 39-44.
3. Ерохин А.А., Ищенко Ю.С. Расчет размеров и веса ванны при сварке со сквозным проплавлением // Автоматическая сварка. – 1967. – № 2. – С. 6-8.
4. Ищенко Ю.С., Букаров В.А. Методика оценки статического равновесия жидкой ванны при v-образной разделке кромок // Сварочное производство. – 1978. – № 10. – С. 9-19
5. Акулов А.И., Гусаков Г.Н. О формировании шва при автоматической дуговой сварке на весу неплавящимся электродом // Сварочное производство. – 1974. – №3. – С. 18-20.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0637-2020-0006)

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗ

Д.Г. Кроткевич, аспирант гр. А0-08,

Е. Б. Кашкаров, к.ф.-м.н., доц.,

Н.С. Пушилина, к.ф.-м.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

тел.89138046642

E-mail: dgk7@tpu.ru

Материалы на основе МАХ-фаз занимают промежуточное положение между металлами и керамиками, сочетая в себе электро- и теплопроводность, трещиностойкость, механическую обрабатываемость, термостойкость, низкую плотность и коррозионную стойкость [1,2]. Ввиду сочетания уникальных свойств металлов и керамики, такие материалы способны улучшить эксплуатационные характеристики в таких направлениях, как двигателестроение, материалы для нефтеперекачивающих агрегатов, высоконагруженных деталей летательных аппаратов и многое другое. В тоже время Целью настоящей работы являлось исследование свойств композиционного материала на основе прекерамической бумаги $Ti_3Si(Al)C_2$ и волокон SiC.

Изготовление бумаги проводилось с помощью бумагоделательной машины Dynamic hand-sheet former D7 (Sumet Systems GmbH, Denklingen, Germany). При производстве бумаги была подготовлена суспензия низкой концентрации (доля твердого вещества 0,5 - 5 масс.%), состоящая из волокон целлюлозы, порошкового наполнителя и удерживающих веществ. Синтез композиционных материалов проводился методом искрового плазменного спекания на установке SPS 10-4 (Advanced Technology, США). В оснастку, диаметром 20 мм, загружалась прекерамическая бумага, которая прокладывалась волокном SiC. Спекание осуществлялось в среде вакуума. Температура контролировалась посредством пирометра. Регулирование свойств композитов осуществлялась изменением углов ориентации волокон в отдельных слоях. Было выбрано несколько ориентаций волокон в слоях: ортогональная укладка и укладка волокна в слоях следующей ориентации $0/\pm 45/90/\pm 45/0^\circ$. Также были подготовлены образцы только из прекерамической бумаги, без армирования волокном. Микроструктуру поверхности, элементный и фрактографический анализ проводился методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе Vega3 (TESCAN). Фазовый состав образцов исследовался методом рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре XRD 7000S (Shimadzu, Япония) при Cu K α -излучении. Механические исследования проводили на установке Al-7000M (GOTECH, Тайвань) с помощью специальной оснастки, методом испытаний на трехточечный изгиб. На рисунке 1 представлены результаты исследования поперечного сечения композиционного материала на основе $Ti_3Si(Al)C_2$.

Согласно энергодисперсионному анализу элементы Ti, Si и C распределены неоднородно из-за наличия вторичной фазы $TiSi_2$. Образование фазы $TiSi_2$ связано с частичным разложением фазы $Ti_3Si(Al)C_2$ во время искрового плазменного спекания прекерамической бумаги. По данным рентгеноструктурного анализа композиционного материала на основе Ti_3SiC_2 включает фазы $Ti_3Si(Al)C_2$ (66 об.%), TiC (26 об.%) и $TiSi_2$ (8 об.%).

Установлено, что добавление волокон SiC не влияет на фазовый состав ламинатов на основе МАХ-фазы. По результатам механических испытаний наибольшей прочностью характеризуются композиты с ортогональной укладкой волокна. В этом случае, прочность на 30-40 % больше, чем в образцах без волокон.

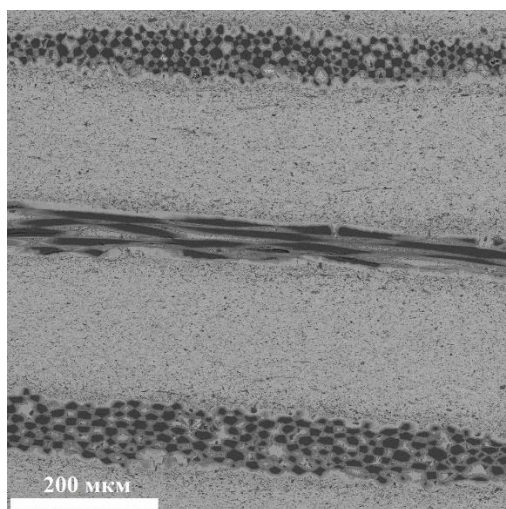


Рис. 1. СЭМ-изображения поперечного сечения образцов.

На рисунке 2 представлены поверхности разрушения исследуемых образцов. Согласно данным фрактографического анализа, поверхности разрушения образцов Ti_3SiC_2 содержат искривленные, разветвленные, разнотолщинные пластины. Для образцов композиционного материала на основе $Ti_3Si(Al)C_2$ и волокна SiC характерно отклонение трещин на границах раздела волокно-матрица.

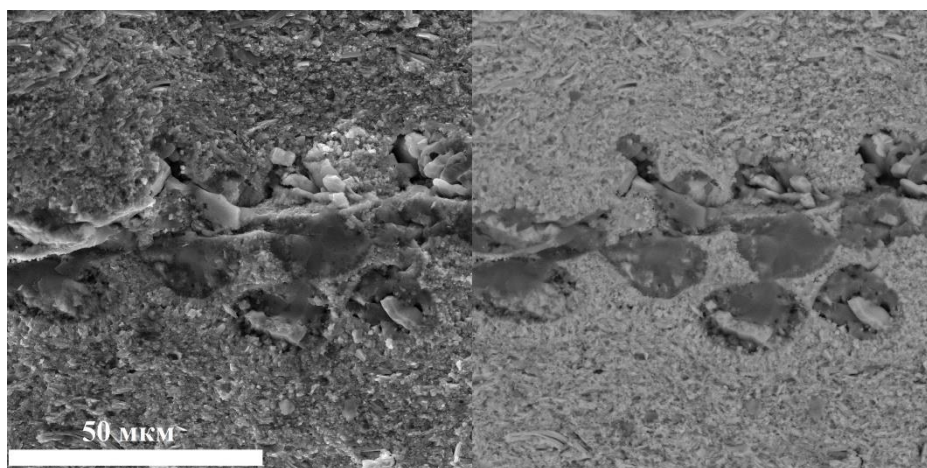


Рис. 2. СЭМ-изображение поверхности разрушения образцов.

Таким образом, волокна SiC оказывают существенное влияние на прочность и механизмы разрушения композиционных материалов на основе $Ti_3Si(Al)C_2$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания в рамках научного проекта № FSWW-2021-0017.

Список литературы:

1. Barsoum M.W. The $M_{N+1}AX_N$ phases: A new class of solids: Thermodynamically stable nanolaminates // Progress in Solid State Chemistry. – 2000. – V. 28. Is. 1–4. – P. 201-281.
2. Li K., Kashkarov E., Syrtanov M., Sedanova E., Ivashutenko A., Lider A., Travitzky N. Preceramic Paper-Derived SiCf/SiCp Composites Obtained by Spark Plasma Sintering: Processing, Microstructure and Mechanical Properties // Materials. – 2020. – 13(3). P. 607.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ВТУЛОК ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ОДНОЦИКЛОВЫМ ДОРНОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ANSYS

Ю. Лю, студент гр. 4АМ01

И.А. Лысак, к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел.(3822)-701-777

E-mail: h-0-h@yandex.ru

Дорнование является одним из наиболее эффективных методов упрочнения и отделки отверстий в полых цилиндрических деталях. Суть заключается в том, что для прохождения через стенку отверстия в цилиндрической детали используется дорн с высокой твердостью материала и несколько большим размером диаметра, при этом обеспечивается отсутствие деформации в обрабатываемой детали. Происходит улучшение структуры материала вокруг отверстия, что ведет к повышению усталостной прочности обработанной детали (предотвращение образования и расширения трещин) [1-3]. Однако, когда дорн проходит через стенку отверстия, в обработанной детали образуются значительные остаточные напряжения. Окружное остаточное напряжение оказывает наиболее выраженное влияние, и его абсолютная величина определяет наиболее важные свойства детали, такие как усталостная прочность, износостойкость, стабильность размеров и т.д. [3] В связи с этим контроль величины окружных остаточных напряжений, возникающих в цилиндрических втулках при дорновании является важной задачей. Экспериментальное исследование остаточных напряжений, возникающих в результате дорнования в деталях типа полых цилиндров является трудоемким и продолжительным процессом, и, как правило, подразумевает разрушение исследуемого образца. Таким образом, исследование напряженно-деформированного состояния толстостенных втулок после обработки одноцикловым дорнованием с использованием компьютерных систем инженерного анализа (CAE) является актуальной задачей.

С целью анализа влияния степени толстостенности (D/d), относительной длины втулки (L/d) и коэффициента натяга (a) на величину окружных остаточных напряжений (σ_θ) в полых цилиндрах после одноциклового дорнования создана математическая модель (рис. 1).

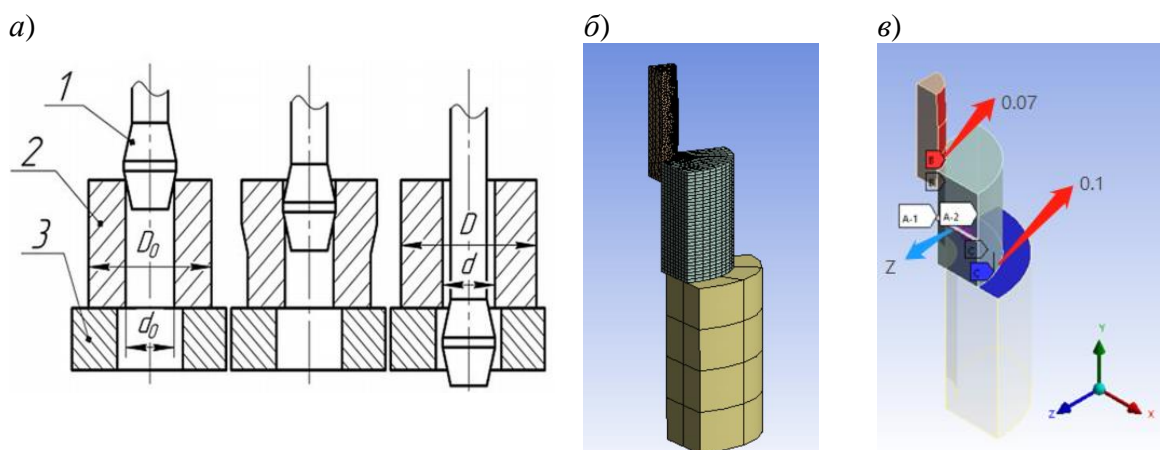


Рис. 1. Схема математической модели:

1 – дорн; 2 – втулка; 3 – опор; d_0 – внутренний диаметр втулки; D_0 – наружный диаметр втулки; d – внутренний диаметр втулки после дорнования; D – наружный диаметр втулки после дорнования

Для расчетной области втулки использовалась структурированная сетка с количеством элементов $n=7644$ (рис. 1б).

В соответствии с фактическими условиями обработки деталь имеет два фрикционных контакта во время обработки: Первый - это фрикционный контакт между нижней поверхностью втулки и верхней поверхностью основания. Второй - это фрикционный контакт между наружной поверхностью дорна и стенкой отверстия втулки. Учитывая гладкость поверхности детали, в первом случае установили коэффициент трения 0,1. Коэффициент трения во втором случае установлен равным 0,07 (рис. 1в).

Поставленная задача решалась в CAE ANSYS с использованием модуля Static Structural. Результаты расчетов регистрировались вдоль контрольных направлений, которые параллельны оси Z, а полученные значения являются окружными напряжениями во втулках (рис. 1в).

Результаты расчетов окружных напряжений (σ_θ) во втулке, полученные для степени толстостенности ($D/d=3$), удельной длине ($L/d=2$) и коэффициенте натяга ($a=3.4$), а также результаты их экспериментального исследования согласно методикам Г. Закса и Н.Н. Давиденкова [4] представлены на рис. 2.

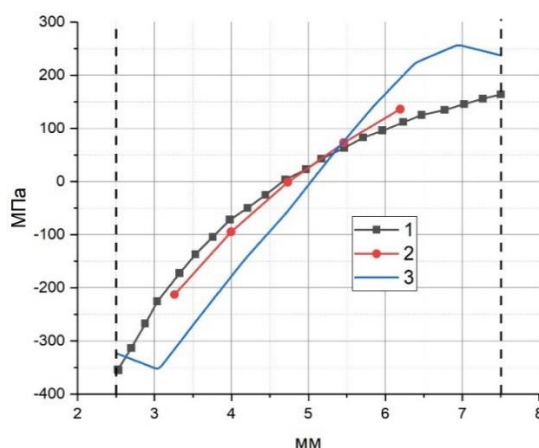


Рис. 2. Окружные напряжения:

- 1 - определенные по методике Н.Н. Давиденкова;
- 2 - определенные по методике Г. Закса; 3 - рассчитанные с использованием ANSYS

Таким образом, сравнивая значения окружных напряжений, можно увидеть, что результаты, рассчитанные ANSYS, очень близки к результатам, полученным в ходе реальных экспериментов, что подтверждает корректность использования средств и методов численного эксперимента.

Список литературы:

1. Монченко, В. П. Эффективная технология производства полых цилиндров / В. П. Монченко. – М.: Машиностроение, 1980. – 248 с.
2. Розенберг, А. М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг. – Киев: Наукова думка. 1990. – 320 с.
3. Скворцов, В. Ф. Остаточные напряжения при дорновании отверстий малого диаметра в полых толстостенных цилиндрах с большими натягами / В. Ф. Скворцов, И. С. Охотин, А. Ю. Арляпов // Известия Томского политехнического ун-та. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 24-27.
4. Скворцов, В. Ф. Применение метода Н. Н. Давиденкова для оценки окружных остаточных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах / В. Ф. Скворцов, А. Ю. Арляпов, А. О. Бознак, И. И. Оголь // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 4. – С. 65-70.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ВЫТЯЖКОЙ В РАМКАХ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

А.Н. Малышев, к.т.н., доцент
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра МК1 «Машиностроительные технологии», 248000, г.Калуга, ул.Гагарина, д.3
тел.:+7-991-328-29-66
E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Применение листовых заготовок переменной толщины известно, например, в автомобилестроении при производстве автомобилей AudiA3 [1], BMWX6 [2], VolvoS60 [3] и автомобилей других известных марок [4]. К тому же листовые заготовки переменной толщины (оригинального профиля поперечного сечения), например, листовые заготовки с уменьшенной по краям толщиной [5] применяются для вытяжки кузовных деталей; для вытяжки деталей летательных аппаратов [6] и для изготовления сегментной облицовки кумулятивных зарядов [7]; заготовки с утонением толщины материала в виде цилиндрических желобов применяются для вытяжки цилиндрических полуфабрикатов [8] и т.д. Применение заготовок переменной толщины соответствует направлению развития способов интенсификации листовой штамповки [9, 10], которые предполагают реализацию специальной подготовки заготовок, оптимизацию толщины и формы заготовки, оптимизацию механических свойств, заданную анизотропию и другое [11]. Одним из крупных потребителей различных корпусных, например, цилиндрических деталей является электротехническая промышленность. В рамках научно-исследовательской работы [12] на производственной площадке АО «АвтоКом» в г. Калуга ПАО «Калужский завод автомобильного электрооборудования» (ПАО «КЗАЭ») была проведена серия экспериментов по вытяжке корпуса из стальной (Сталь08Ю) экспериментальной заготовки переменной толщины для создания экспериментального электродвигателя малой мощности с постоянными магнитами для моторредуктора 19.3780.000.Э привода тросового стеклоподъемника для автомобиля ВАЗ-2172, ВАЗ-2123, ВАЗ-2192 в двух модификациях: «с ушами» и «без ушей» (рис.1а и 1б соответственно).

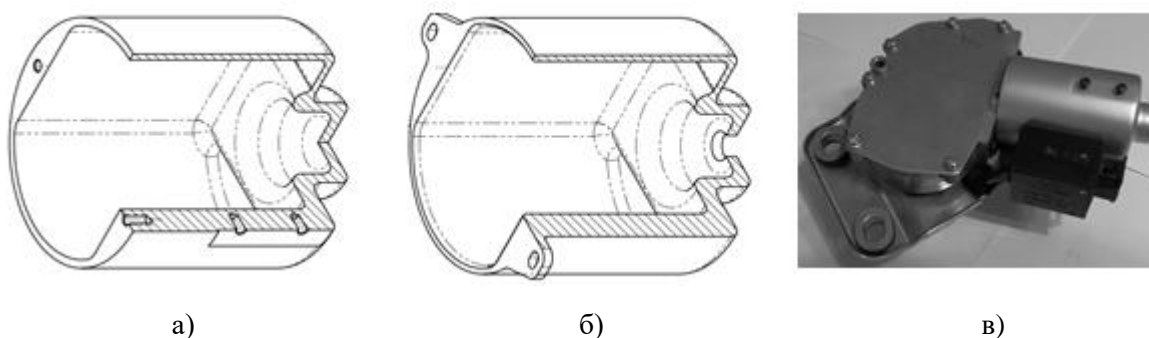


Рис.1. «Корпус электродвигателя»: а) без «ушей»; б) с «ушами»; в) фото привода с экспериментальным моторредуктором

В рамках научно-исследовательской работы [12] были достигнуты поставленные цели, а именно, увеличен ресурс работы и снижен уровень шума за счет возможности установки подшипника качения (вместо, как правило, устанавливаемого подшипника скольжения – бронзо-графитового «вкладыша») в толстостенном элементе донной части, что в свою очередь позволило повысить точность позиционирования «статора» и «якоря» электромотора рассматриваемых корпусов и обеспечить необходимую посадку в соединении

«подшипник качения - корпус электродвигателя»; в том числе конструкция корпуса «без ушей» (рис. 1б), штампованного из стальной разнотолщинной неосесимметричной заготовки, предполагает возможность изготовления резьбовых отверстий для крепления корпуса к несущему элементу базовой конструкции привода.

Результаты настоящего исследования подтверждают возможность использования листовых заготовок переменной толщины для изготовления «вытяжкой» цилиндрических корпусных деталей, обеспечивая конструкцию их оригинальных элементов в значительной степени за счет оригинального профиля поперечного сечения исходной листовой заготовки.

Список литературы

1. С. Bielz, S. Hein: The new Audi A3, presented at EuroCarBody, October 16-18, Bad Nauheim, Germany, 2012.
2. M. Pfestorf & D. Copeland: Technological Innovations in Body in White Manufacturing of the BMW X6, April 9th. Livonia, MI, USA: Steel Market Development Institute, 2008.
3. M. Bergwall, S. Dahlström & O. Lindblad: The New Volvo S60 Car Body, presented at EuroCarBody, October 19-21, Bad Nauheim, Germany, 2010.
4. Малышев А.Н. Применение заготовок переменной толщины в современном листоштамповочном производстве // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сборник научных статей 5-ой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 14 февраля 2020 г. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2020. - С.161-163.
5. Патент SU 1507494 A1 (СССР), 15.09.1989. Листовая заготовка для вытяжки кузовных деталей // SU 1507494 A1. 1989. Бюл. № 34. / Жарков В.А.
6. Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Тарасов В.А. Особенности проектирования и изготовления листовых заготовок переменной толщины для вытяжки деталей летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2018. - №6. - С. 1-12.
7. Круглов П.В., Болотина И.А. Технология изготовления дисковых заготовок переменной толщины для компактных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2017. - №9. - С. 1-11.
8. Патент Российской Федерации RU 2056199 C1, 20.03.1996. Заготовка для вытяжки цилиндрического полуфабриката // RU 2056199 C1. 1993. / Коротков В.А., Яковлев С.С.
9. Морозов С.А. Морозов А.С. Интенсификация процессов листовой штамповки // Вестник ПНИПУ. MASTER`S JOURNAL. Пермь. - 2012. - №1. - С. 89-93.
10. Яковлев С.С., Фам Дык Тхиен, Нечепуренко Е.Г., Коротков В.А. Интенсификация технологических процессов изготовления полых цилиндрических деталей // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула; Издательство ТулГУ. - 2012. - Вып.8. - С. 79-85.
11. Феофанова А.Е. Повышение интенсивности и надежности формоизменяющих операций листовой штамповки: Дисс. д-ра техн. наук: 05.03.05: Москва. - 2004. - 289 с.
12. Малышев А.Н., Бысов С.А., Кухарь В.Д., Коротков В.А., Вихорев В.В. Вытяжка листовых заготовок переменной толщины для изготовления корпусных деталей электротехнической промышленности // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. - 2021. - №4. - С. 30-36.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЯ

А.С. Непомнящий, студент гр. 1В81

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск*

E-mail: asn39@tpu.ru

На многих промышленных предприятиях применяют наплавку, для восстановления и упрочнения изношенных деталей. Механические и эксплуатационные свойства зависят от многих факторов, включая энергетические параметры режима сварки, которые определяют стабильность процесса и тепловложение в изделие [1]. С помощью импульсного изменения энергетических параметров режима можно повысить производительность технологического процесса сварки и уменьшить тепловложение в изделие, что благоприятно сказывается на механических характеристиках, структуре и длительности эксплуатации наплавленного изделия.

Для наплавки были выбраны экспериментальные электроды Т-590*, источником питания выступал сварочный инвертор МАГМА 315 от компании ФЭБ, также был применен исследовательский-диагностический комплекс быстропротекающих процессов [2]. Были получены основные энергетические параметры режима, такие как: коэффициент вариации длительность коротких замыканий, средняя длительность коротких замыканий, частота коротких замыканий, погонная энергия. Вышеперечисленные энергетические параметры режима достаточны, для того чтобы судить о стабильности процесса сварки и теплосодержании капель, переходимых в сварочную ванну. В таблице 1 приведены режимы наплавки

Таблица 1. Параметры режима наплавки

Режим сварки	U_{cp}, B	I_{cp}, A	$I_{имп}, A$	$I_{п}, A$	$t_{имп}, c$	$t_{п}, c$	$N_{кз}$	$T_{кз}, мс$	Kd	$I_{кз}, A$	$Q, кДж/мм$
Постоянный ток	18,2	174,2	-	-	-	-	18	14,4	0,48	226	0,959
Модулированный ток	18,7	179,6	200	60	0,3	0,3	61	8,6	0,24	292	0,790

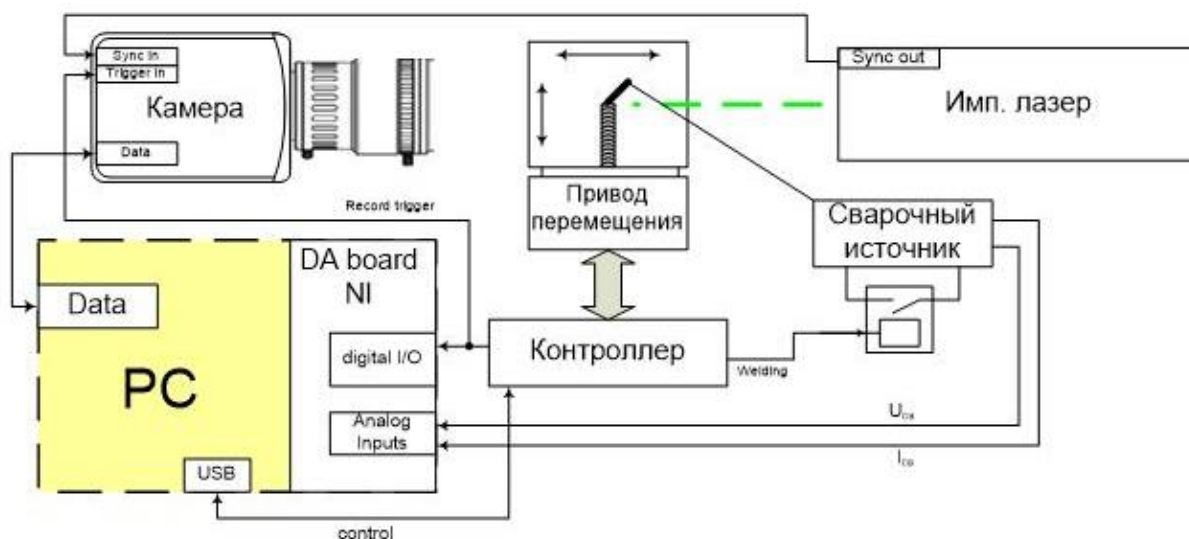


Рис. 1. Блок схема исследовательского диагностического комплекса быстропротекающих процессов.

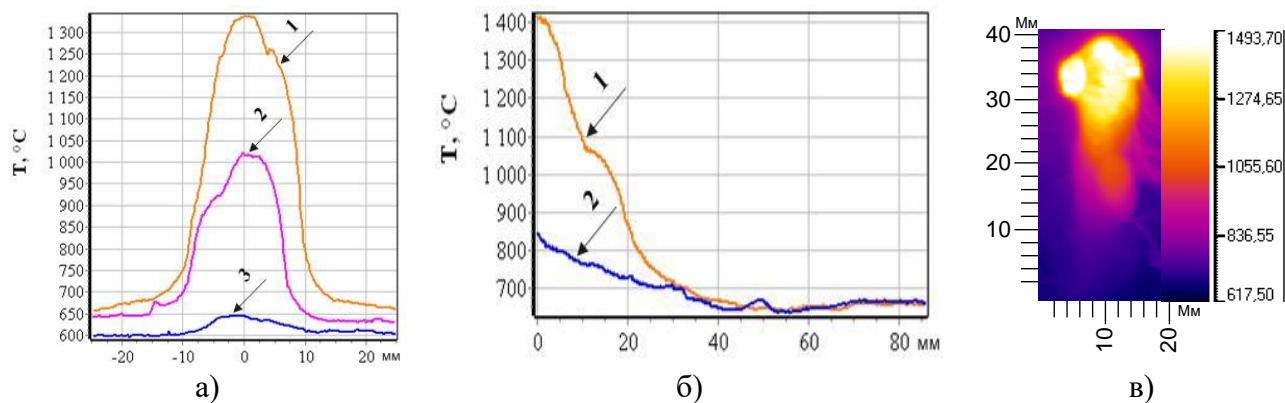


Рис.2. Пример тепловизионных исследований:
а) КТЦ поперек шва в диапазоне: 1 – 1400 °С, 2 – 1000 °С; 3 – 700 °С;
б) КТЦ вдоль оси наплавленного шва – 1, вдоль ЗТВ – 2;
в) температурное поле при НПА на прямой полярности

После обработки результатов можно подчеркнуть, что при наплавке на модулированном токе происходит повышение стабильности протекания процесса сварки, уменьшение разбрызгивания, уменьшение тепловложения в изделие повышение износостойкости, в сравнении с наплавкой на постоянном токе, незначительное повышение твердости.

Заключение: Импульсное изменение энергетических параметров режима оказывает постоянное интенсивное перемешивание расплава, разбивание ветвей дендритов и образование множества новых центров кристаллизации, из-за чего измельчается структура и повышаются эксплуатационные характеристики и механические свойства.

Работа выполнена в рамках Программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2018-2020 годы, проект III.23.2.1. Исследования выполнены с применением исследовательского диагностического комплекса разработанного и изготовленного за счет средств проектов РНФ №16-19-10010 и №16-19-10010-П.

Список литературы:

1. Saraev, Yu.N. Distribution of residual stresses in welded joints in 09G2S steel produced by adaptive pulsed-arc welding / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A Grigoryeva, N.I. Golikov, V.V. Dmitriev, I.I. Sannikov // *Welding International*. – 2015. – V. 29. – №. 2. – pp. 131-134
2. Сараев, Ю.Н. Кинетические особенности тепломассопереноса в условиях сварки и наплавки / Ю.Н. Сараев, А.Г. Лунев, В.М. Семенчук, А.С. Непомнящий // *Известия вузов «Физика»*. – 2019. – Т. 62. – № 9. – С. 34-40.

**СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ С РАЗВИТЫМИ
ЗОНАМИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ**

*А.В. Проскоков¹, к.т.н., доц., Р.Х. Губайдулина¹, к.т.н., доц. С. И. Петрушин², д.т.н., проф
¹Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
Тел. (38451)-77-761*

*²Кузбасский политехнический университет, 6520025, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: proskokov@tpu.ru*

Известные из литературы по теории резания и рассмотренные в [1] схемы стружкообразования с единственной условной поверхностью сдвига не могут дать ответа на вопрос о величинах и характере возникающих при резании в заготовке и стружке напряжений и деформаций, а также о контактных напряжениях на рабочих участках передней и задней поверхностей лезвия инструмента и, следовательно, рассчитать силу резания. В то же время экспериментально доказано, что превращение срезаемого слоя в стружку происходит в пластической зоне, имеющей сложную форму. Предпринимались многочисленные попытки моделирования этой зоны на основе построения полей линий скольжения. Согласно теории пластичности [2] линии скольжения представляют собой два семейства взаимно ортогональных криволинейных координат, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения. Если удастся построить кинематически возможное поле линий скольжения, то возможен и расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) в зоне образования стружки. Первая серьезная попытка построить поле линий скольжения в зоне стружкообразования при свободном ортогональном резании принадлежит Н.Н.Зореву [3]. Другие схемы [4,5,6] позволяют рассчитать напряжения в пластической зоне, но отдают предпочтение либо области первичных деформаций, прилегающей к свободной поверхности срезаемого слоя и стружки, либо области вторичных деформаций, окружающей лезвие. Поэтому задача разработки схемы полей скольжения в пластической зоне, правильно отражающей результаты экспериментов и в то же время поддающейся расчету, остается актуальной.

Предлагается [5,8] при построении сетки линий скольжения в пластической области в качестве исходных данных задавать законы распределения силовых контактных напряжений на рабочих площадках лезвия, а их величина, как и величина внутренних напряжений в зоне пластичности, являются расчетными. В этой концепции предполагается, что первопричиной изменения геометрии зоны пластичности являются контактные явления на трущихся площадках лезвия инструмента. Форма и размеры участка вторичной зоны пластичности, прилегающего к лезвию, зависят от условий трения на рабочих поверхностях, которые в свою очередь определяются закономерностями распределения контактных напряжений на трущихся площадках между передней поверхностью и стружкой, а также между задней поверхностью и заготовкой.

Обобщая большой экспериментальный материал, полученный проф. М.Ф. Полетикой [7], можно аппроксимировать распределение нормальных контактных напряжений на передней поверхности законом треугольника, а касательные принять постоянными на пластическом участке и линейно уменьшающимися до нуля в конце контакта – на упругом.

Пластический контакт между задней поверхностью и поверхностью резания происходит при большей скорости скольжения, но с физической точки зрения он мало чем отличается от контактных явлений на передней поверхности.

Положение сдвиговой области стружкообразования, выходящей на свободную поверхность срезаемого слоя и стружки зависит от условий трения на передней и задней поверхностях лезвия.

Поля линий скольжения не совпадают с текстурой материала, образующейся в результате процесса пластической деформации. Исходя из условий деформирования, для

любого момента течения металла образуется своя сетка линий скольжения, на которую в последующем накладываются другие поля линий скольжения. Поэтому для изучения полей скольжения при резании была разработана специальная методика и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая после остановки процесса резания шлифовать боковую поверхность корня стружки совместно с инструментом, и затем вновь производить резание. В результате в первоначальный момент продолжения процесса образования стружки выявляются сетки полей линий скольжения, которые в дальнейшем превращаются в текстуру.

В данной работе представлены экспериментально полученные поля линий скольжения при резании стали марки Сталь 20. Из него следует, что до смещения резца, равного 2 мм, наблюдается два поля линий скольжения, одно из которых прилегает непосредственно к вершине инструмента, а другое - к участку перехода срезаемого слоя в стружку. На реальных скоростях резания металлов значение зоны первичных деформаций будет снижаться, а зоны вторичных деформаций, прилегающей к режущему клину, будет возрастать.

Выводы

1. Предложенная схема полей линий скольжения в пластической области позволяет определять напряженно-деформированное состояние при снятии стружки, задаваясь законами распределения контактных напряжений на лезвии инструмента.
2. Экспериментально полученные поля линий скольжения подтвердили обоснованность разработанной концепции аналитического описания пластических деформаций в зоне стружкообразования, возникающих при резании металлов.

Список литературы:

1. Petrushin S. I., Gubaydulina R. K. Analysis of operating engineered products // The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. – 2017 – Vol. 26. – p. 276–285.
2. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. Зоре Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 368 с.
4. Армареги И. Дж. А., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
5. Петрушин С. И. Введение в теорию несвободного резания материалов. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 97 с.
6. Гольдшмидт М. Г. Деформации и напряжения при резании металлов. – Томск: Изд. СТТ, 2001. – 180 с.
7. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение. 1969. – 150 с.
8. Петрушин С. И., Проскоков А. В. Теория несвободного резания материалов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 162 с.

ДЕЗИНТЕГРАТОР В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФТОРАНГИДРИТА

*А.С. Рыбин¹, аспирант,
Ю.М. Федорчук¹, д.т.н., профессор,
Д.В. Нарыжный¹, аспирант,
М.В. Носова², аспирант,
К.М. Минаев¹, к.х.н., доцент
Е.Н. Пашков¹, к.т.н., доцент*

¹Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

²Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,36,
тел.8(913)-873-32-14

E-mail: sasha.rybin.1995@mail.ru

Отход производства плавиковой кислоты – фторангидрит, может применяться в качестве сырья для строительных изделий и материалов [1]. Для получения более качественного сырья, необходимо обеспечить минимальный размер гранул нейтрализованного фторангидрита. Дезинтегратор относится к устройствам для измельчения различных материалов и может быть использовано в строительной, химической и других отраслях промышленности, в частности для переработки твердого кускового сырья, например, фторангидрита [2].

Дезинтегратор состоит из улитки, в которой расположены неподвижный и подвижный диски с впрессованными перпендикулярно плоскости дисков пальцами-билами; корпуса подшипников, отделенного от улитки и шкива-привода вращения вала пыльниковым и лабиринтным устройствами; электродвигателя, осуществляющего вращение подвижного диска с передаточным соотношением 2:1 посредством клиноременной передачи [3].

В классическом исполнении, дезинтегратор позволяет обеспечить измельчение подаваемого в него гранул ФА до частиц свыше 80 мкм, что недопустимо по техническим условиям. При замене цилиндрических пальцев, на лопасти в периферийном ряду подвижного диска (рис. 1), позволяет повысить эффективность измельчения материала за счет перепада давления от работы лопастей вентилятора и роста скорости перемещения частиц.

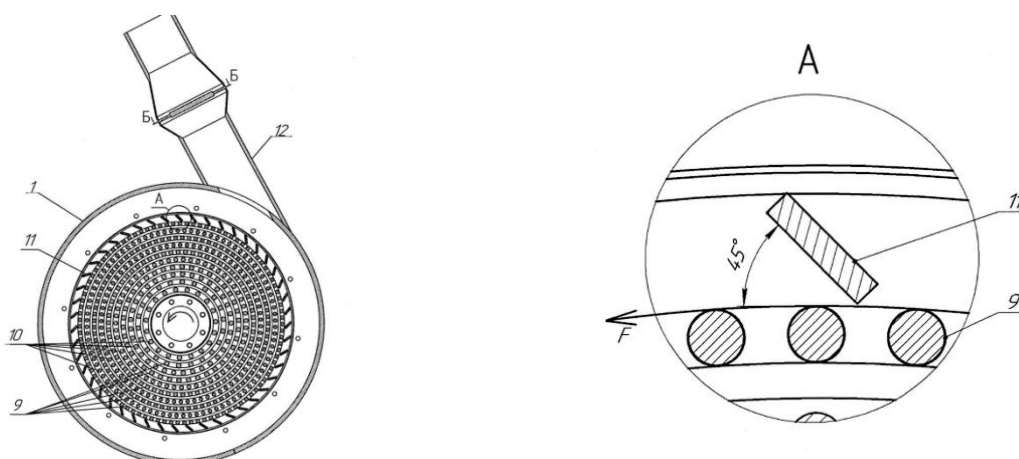


Рис. 1. Дезинтегратор: 1 – цилиндрический корпус; 9 – ряд пальцев статора; 10 – ряд пальцев ротора, 11 – пластины, 12 – выгрузочный патрубок

При помощи описываемого дезинтегратора производилось измельчение гранул фторангидрита. Диаметр дисков дезинтегратора составлял 56 см. Наклон плоских пластин

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

периферийного ряда измельчающих элементов ротора к вектору окружной скорости составлял 45°. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Дисперсность фторангидрита после помола в дезинтеграторе

Площадь проходного сечения ответвления, %	Производительность, кг/ч	Средний размер частиц фторангидрита, мкм
0	-	-
10	50	200
20	150	160
30	300	140
40	450	120
50	600	100
60	750	80
70	900	60
80	1050	40
90	1100	20
100	1200	5

Как видно из таблицы 1, увеличение потока воздуха через дезинтегратор с ростом площади проходного сечения ответвления, приводит к увеличению производительности и снижению среднего размера частиц фторангидрита на выходе.

Список литературы:

1. Волков Д. Л., Сагитов К.В., Плеханова Т.А. Перспективы использования фторангидрита в составе строительных материалов // ускорению научно-технического прогресса в XXI веке. – 2016. – С.698-703.

2. Патент № 2694313 Российская Федерация, МПК В02С 13/22 (2006.01). Дисмембратор : № 2018133218 : заявл. 18.09.2018 : опубл. 11.07.2019 / Замятин Н. В., Федорчук Ю. М., Матвиенко В. В., Смирнов Г. В., Нарыжный Д. В., Воронков Н. Н., Рябцев С. В., Саденова М. А., Малинникова Т. П. ; заявитель ТПУ. – 14 с. : ил.

3. Руководство по эксплуатации. Дезинтегратор-пневмотранспортер ДИ-ПТ / ООО «ТПУЭкоСтрой». – 2012. – 15.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС МАЛОАМПЕРНОЙ ДУГИ С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

А.В. Савинов, д.т.н., проф.

П.П. Красиков, зав. лабораторией,

О.А. Полесский, к.т.н., доц.

А.А. Чудин, к.т.н., ст. преподаватель,

Л.С. Красикова, студентка

Д.А. Муругов, аспирант

Волгоградский Государственный Технический Университет,

400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. (8442)-24-80-18

E-mail: svaka-nv@vstu.ru

Процессы в приэлектродных областях электрической дуги в значительной мере определяют ее свойства: особенности возбуждения и развития разряда, его физическую и пространственную устойчивость, энергетические и технологические характеристики. Особую значимость для сварочной дуги имеют процессы, протекающие в катодной области, определяющие не только возможность существования разряда, но и применимость в конкретных условиях сварки [1].

К настоящему времени наиболее полно исследован тепловой баланс дуги постоянного тока с вольфрамовым электродом-катодом и медным водоохлаждаемым анодом в диапазоне токов от 20 до 200А [2 – 4]. В большинстве случаев тепловой поток в катод (т.е. в вольфрамовый электрод) в несколько раз меньше теплового потока в анод. Удельный тепловой поток (на 1А тока дуги) в катод уменьшается с ростом тока, изменяясь в пределах от 6 до 1 Вт/А [1], причем его значение оказывается меньше при меньшем диаметре электрода, а также при использовании в качестве его материала торированного вольфрама вместо чистого.

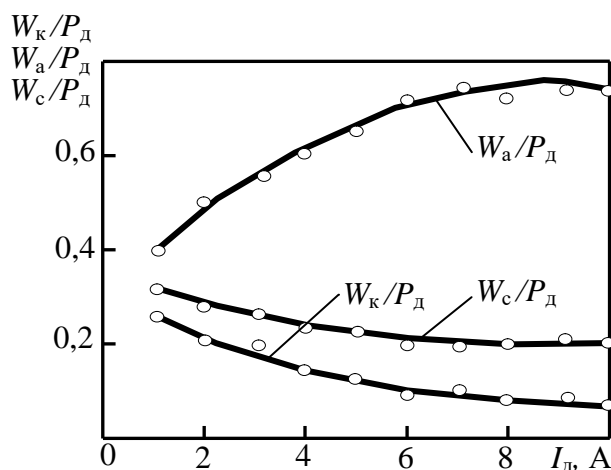


Рис. 1. Изменение теплового баланса малоамперной дуги в зависимости от величины тока I_d : $d_b = 0,3$ мм, $L_b = 2$ мм, $L_d = 2$ мм, $Q_r = 5$ л/мин.

На энергетический баланс малоамперной дуги в аргоне оказывают влияние диаметр электрода d_b , величина его вылета L_b и ток дуги I_d . С ростом тока увеличивается доля тепла, поступающего в анод (в общей мощности дуги) и уменьшается катодная доля (рис. 1). Изменение диаметра электрода d_b не влияет на характер этих зависимостей, однако абсолютные значения тепловых потоков в анод (рис. 2) и, особенно, в катод (рис. 3) существенно увеличиваются с ростом d_b . Влияние вылета электрода на тепловые характеристики дуги заметно при малых значениях L_b (до 3 – 5мм) и становится малозаметным при больших его величинах. Объяснить этот факт можно изменением

соотношения составляющих отвода тепла в тепловом балансе рабочего участка электрода. При малых значениях L_b с его увеличением быстро уменьшается интенсивность охлаждения рабочего участка электрода теплопроводностью, следствием чего является уменьшение величины W_k , необходимой для разогрева катода до нужной температуры. При дальнейшем увеличении L_b существенную роль начинают играть тепловыделение на омическом сопротивлении вылета электрода и отвод тепла излучением.

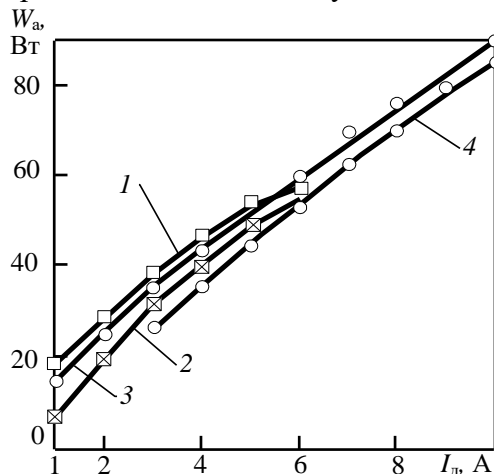


Рис. 2. Изменение мощности теплового потока в анод W_a малоамперной дуги: $d_b = 0,16$ мм (1), 0,2 мм (2), 0,3 мм (3) и 0,5 мм (4); $L_d = 1$ мм; $Q_r = 5$ л/мин

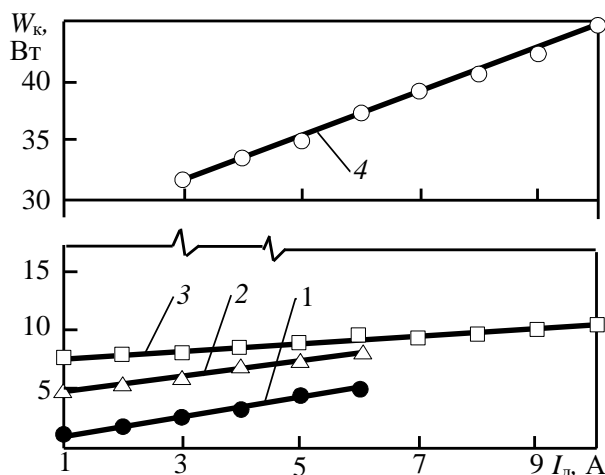


Рис. 3. Влияние величины тока I_d на мощность теплового потока в электрод - катод W_k малоамперной дуги: $d_b = 0,16$ мм (1); 0,2 мм (2); 0,3 мм (3) и 0,5 мм (4) ($L_b = 2$ мм, $L_d = 2$ мм, $Q_r = 5$ л/мин).

Список литературы:

1. Савинов А.В., Лапин И.Е., Лысак В.И. Дуговая сварка неплавящимся электродом. М: Машиностроение, 2011. – 477 с.
2. Косович В.А., Маторин А.И., Седых В.С. Повышение эффективности нагрева металла при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом // Сварочное производство. – 1981. – № 3. – С. 29 – 30.
3. Косович В.А., Лапин И.Е., Русол О.А. Технологические особенности сварки малоамперной дугой с ультратонким вольфрамовым электродом // Сварочное производство. – 1999. – №1. – С.15-17.
4. Моррис А. Исследование дуги постоянного тока. Получение и исследование высокотемпературной плазмы. – М.: Иностран. лит., 1962. – С.152-163.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0637-2020-0006)

ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПЛОТНОСТЬ YAG:Ce ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ НА ВОЗДУХЕ

Ху Чжэньфэн, студент гр. 4БМ02

В.Д. Пайгин, Инженер ОМ ИШНПТ ТПУ

Д.Е. Деулина, студент гр. 4БМ12

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: chzhenfen1@tpu.ru

Аннотация: Керамику на основе $Y_3Al_5O_{12}:Ce$, с добавками оксида графена в количестве от 0,1 до 1 мас. % изготавливали методом холодного сухого одноосного прессования в жесткой с последующим спеканием на воздухе. В работе обсуждается влияние температуры спекания и концентрации оксида графена.

В последние годы широко белые светодиоды нашли широкое применение в источниках света. Они обладают длительным сроком службы, высокой светоотдачей, низким энергопотреблением, экологичностью и другими преимуществами [0]. В производстве светодиодов, в качестве преобразователя оптического излучения, используют люминофоры. Иттрий-алюминиевый гранат, активированный церием, является наиболее распространенным и эффективным люминофором [0]. Светодиоды на основе YAG:Ce возбуждается синим светом излучаемым светодиодом, а дает белый [0].

В настоящей работе изучено влияние температуры спекания и концентрации оксида графена на плотность YAG:Ce керамики.

Порошковые смеси на основе YAG:Ce и оксида графена (GO) с концентрацией от 0,1 до 1 мас. % были подготовлены с использованием шаровой мельницы. Смешивание проводили в изопропиловом спирте в течение 48 часа. Затем порошки сушили при температуре 90°C в течение 12 часов.

Холодное статическое прессование проводили на прессе IP-500 AUTO (ZIPO, Россия) при давлении 400 МПа.

Спекание проводили в высокотемпературной печи ЛНТ 02/18 (Nabertherm, Германия) на воздухе при температурах от 1250°C до 1650°C. Выдержка на заданной температуре спекания составила 2 часа. Скорость нагрева и охлаждения составляла 200 °C/час.

Плотность определяли по результатам измерения массы и геометрических размеров образцов.

На рисунке 1 представлены результаты измерения плотности до и после спекания. Видно, что чем выше концентрация оксида графена, тем меньше относительная плотность прессовок. Плотность керамики с увеличением концентрации оксида графена от 0 до 1 мас. % увеличивается на 98.9 %.

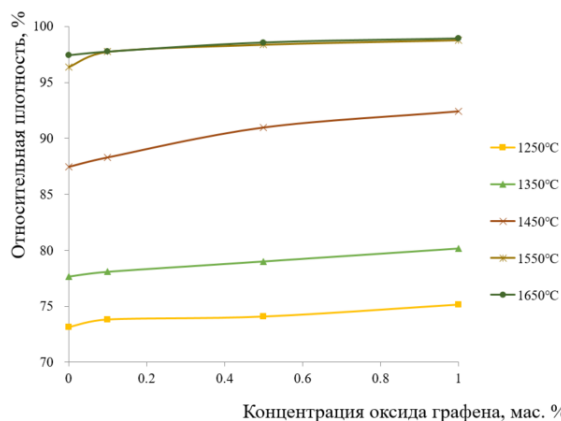
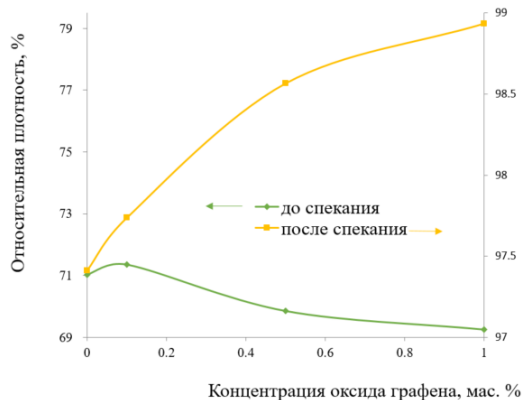


Рис. 1. Зависимость относительной плотностью керамики до и после спекания от концентрации оксида графена (а)

Рис. 2. Зависимость относительной плотностью керамики от температуры спекания (б)

На рисунке 2 представлена зависимость относительной плотностью керамики от температуры спекания. Видно, что с повышением температуры от 1250°C до 1650°C д спекания относительная плотность керамики увеличивается с 70.53% до 97.41 % для образцов не содержащих оксид графена и с 68.74 до 98.93 % для образцов содержащих 1 мас. % оксида графена.

В результате работы получены образцы люминесцентной керамики на основе YAG:Ce с добавкой оксида графена в количестве от 0 до 1 мас. %.

Установлено, что керамика на основе YAG:Ce с максимальной плотностью (97.41 %) может быть получена методом прессования с последующим спеканием на воздухе при давлении 400 МПа, температуре 1650 °С в течение 2 часов.

Добавка оксида графена 1 мас. % способствует повышению плотности керамики на основе YAG:Ce на 68.74 – 98.93 %.

Список литературы:

1. Hu Y. et al. Preparation and luminescent properties of (Ca_{1-x}, Sr_x) S: Eu²⁺ red-emitting phosphor for white LED //Journal of luminescence. – 2005. – Т. 111. – №. 3. – С. 139-145.
2. Shimizu Y. et al. Light emitting device having a nitride compound semiconductor and a phosphor containing a garnet fluorescent material : пат. 5998925 США. – 1999.
3. Chen D. et al. Advances in transparent glass–ceramic phosphors for white light-emitting diodes—A review //Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – Т. 35. – №. 3. – С. 859-869.

ВЛИЯНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПЛОТНОСТЬ Се: YAG ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ НА ВОЗДУХЕ

*Ху Чжэньфэн, студент гр. 4БМ02
В.Д. Пайгин, Инженер ОМ ИШНПТ ТПУ
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: chzhenfen1@tpu.ru*

Аннотация: Оксид графена обладает превосходными оптическими, электрическими и механическими свойствами. В данной работе в различных пропорциях смешивались и измельчались порошок оксида графена и порошки $Y_3Al_5O_{12}$: Се, керамики получили путем холодного сухого одноосного прессования в жесткой пресс-форме и спекания на воздухе. При измерении плотности керамики, можно получить результат, что оксид графена оказывает большое влияние на плотность прозрачной керамики YAG.

В последние годы широко используются и применяются белые светодиоды, обладающие длительным сроком службы, высокой светоотдачей, низким энергопотреблением, экологичностью и другими преимуществами [0].

С 1996 года порошок иттрий-алюминиевого граната, легированный церием (YAG: Се), является популярным материалом для преобразования света [0]. YAG: Се может возбуждаться синим светодиодным чипом, и желтый свет, излучаемый им, дополняет синий свет, излучаемый светодиодным чипом, и оба смешиваются, образуя белый свет [0]. YAG: Се обладает такими преимуществами, как небольшой размер, низкое энергопотребление и длительный срок службы. Относится к «четвертому поколению источников света».

В 2004 году с помощью метода зачистки микрокомпьютера графен был успешно отделен от одноблочного состояния [0]. За последнее десятилетие графен и оксид графена вызвали большой интерес благодаря своим уникальным и превосходным электронным, оптическим, механическим и химическим свойствам [0]. По сравнению с графеном (С) оксид графена (GO) обладает следующими преимуществами: низкие производственные затраты, крупномасштабность производства и легкость обработки. В последние годы ученые обнаружили, что оксид графена также обладает превосходными свойствами, богатыми активными кислородсодержащими функциональными группами [0]. Присутствие кислородсодержащих групп также расширяет межслойный зазор оксида графена [0].

В настоящее время оксид графена нашел своё применение в различных областях промышленности. Его используют в технологии опреснения [0], солнечных батареях [0], хранении энергии [0], медицине [0] и других областях.

Цель работы: изучить влияние оксида графена на плотность Се:YAG керамики, полученной при различных температурах.

Порошковые смеси на основе Се:YAG и оксида графена (GO) с концентрацией от 0,1 до 1 мас. % были подготовлены с использованием шаровой мельницы. Смешивание проводили в изопропиловом спирте в течение 48 часа. Затем порошки сушили при температуре 90°C в течение 12 часов.

Порошковая смесь спрессована в стальной пресс-форме с помощью автоматического пресса IP-500 AUTO (ZIPO, Россия) методом холодного сухого одноосного прессования в жесткой пресс-форме при давлении 31 кН.

Спекание проводили в высокотемпературной печи LHT 02/18 (Nabertherm, Германия) на воздухе при температурах от 1250°C до 1650°C. Выдержка на заданной температуре спекания составила 2 часа. Скорость нагрева и охлаждения составляла 200 °C/час.

Для измерения массы были использованы лабораторные электронные весы AJ – 420CE (Shinko, Япония) . Диаметр цилиндрического керамического образца был определен с помощью штангенциркуля (Mitutoyo, Япония), толщина – Толщинометром 543-551DC (Mitutoyo, Япония).

Была измерена плотность керамических образцов до и после спекания, из рисунка 1 видно, что чем выше концентрация оксида графена, тем меньше относительная плотность прессовок.

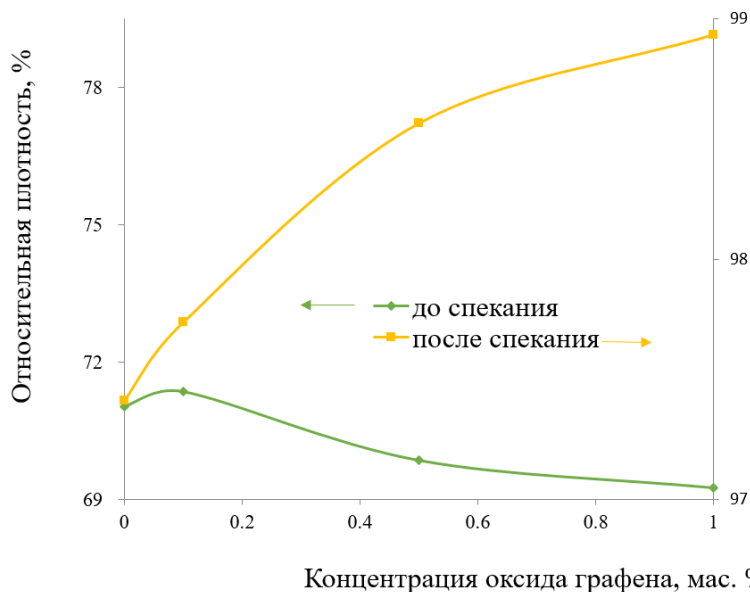


Рис.1. Зависимость относительной плотностью керамики до и после спекания от концентрации оксида графена

Из рисунка 2 видно, что с повышением температуры спекания на 100 °С относительная плотность керамики увеличилась более чем на 5%. Когда температура спекания превышает 1550 °С, относительная плотность достигнет 98%.

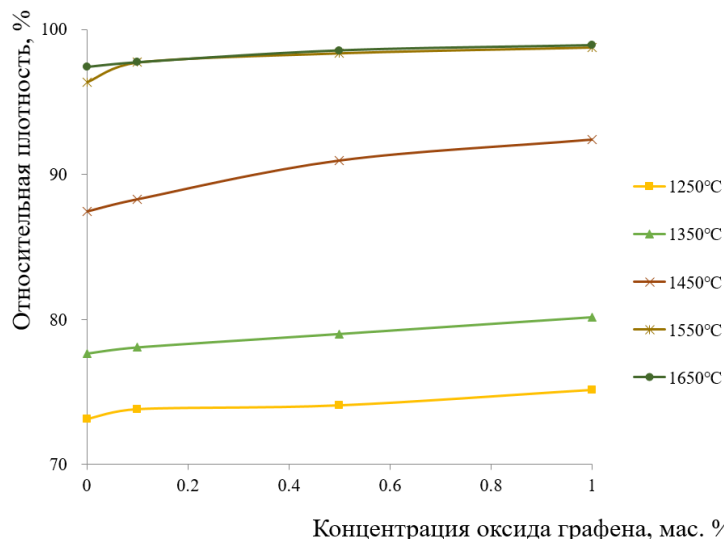


Рис. 2. Зависимость относительной плотностью керамики после спекания от концентрацией оксида графена

Согласно рисунка 3, с повышением температуры плотность керамики линейно увеличивается. Относительная плотность керамики достигнет 98% при 1550 °С. После 1550 °С плотность керамики изменяется мало. И чем выше концентрация оксида графена, тем больше относительная плотность керамики

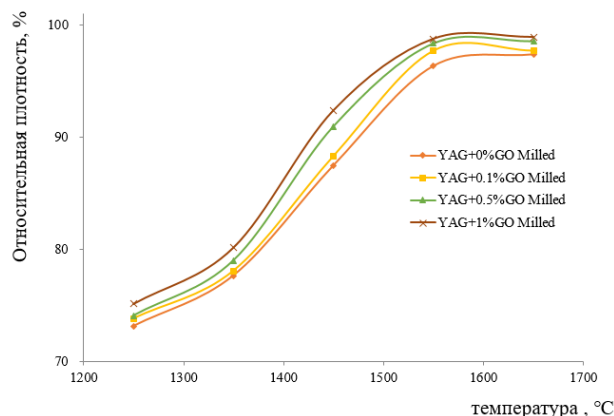


Рис. 3. Зависимость относительной плотностью керамики после спекания и от температуры спекания

В данной работе путем изменения концентрации оксида графена и регулирования температуры спекания, использования холодного сухого одноосного прессования в жесткой пресс-форме и спекания на воздухе получено значение 98% средней относительной плотности прозрачной керамики Се:YAG. Этот эксперимент подтвердил, что концентрация оксида графена, температура спекания и давление будут оказывать влияние на плотность керамики, после одноосного прессования, с увеличением концентрации оксида графена плотность продолжает уменьшаться, а плотность после спекания увеличилась. Чем выше концентрация оксида графена, тем ниже относительная плотность при требуемой температуре. В температурном диапазоне от 1550 до 1600 °C плотность керамики достигнет максимума. Чем выше концентрация оксида графена, тем выше плотность после спекания, максимальное полученное значение 98%.

Список литературы:

1. Hu Y. et al. Preparation and luminescent properties of $(Ca_{1-x}, Sr_x) S: Eu^{2+}$ red-emitting phosphor for white LED //Journal of luminescence. – 2005. – Т. 111. – №. 3. – С. 139-145.
2. Shimizu Y. et al. Light emitting device having a nitride compound semiconductor and a phosphor containing a garnet fluorescent material : пат. 5998925 США. – 1999.
3. Chen D. et al. Advances in transparent glass–ceramic phosphors for white light-emitting diodes—A review //Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – Т. 35. – №. 3. – С. 859-869.
4. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon //nature. – 1991. – Т. 354. – №. 6348. – С. 56-58.
5. Yu W. et al. Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review //RSC Advances. – 2020. – Т. 10. – №. 26. – С. 15328-15345.
6. Gao W. The chemistry of graphene oxide //Graphene oxide. – 2015. – С. 61-95.
7. Stankovich S. et al. Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide //carbon. – 2007. – Т. 45. – №. 7. – С. 1558-1565.
8. Nair R. R. et al. Unimpeded permeation of water through helium-leak-tight graphene-based membranes //Science. – 2012. – Т. 335. – №. 6067. – С. 442-444.
9. Liu J. et al. Hole and electron extraction layers based on graphene oxide derivatives for high-performance bulk heterojunction solar cells //Advanced Materials. – 2012. – Т. 24. – №. 17. – С. 2228-2233.
10. Cakici M., Kakarla R. R., Alonso-Marroquin F. Advanced electrochemical energy storage supercapacitors based on the flexible carbon fiber fabric-coated with uniform coral-like MnO_2 structured electrodes //Chemical Engineering Journal. – 2017. – Т. 309. – С. 151-158.
11. Kumar S. et al. Electrochemical sensors and biosensors based on graphene functionalized with metal oxide nanostructures for healthcare applications //ChemistrySelect. – 2019. – Т. 4. – №. 18. – С. 5322-5337.

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

М. Ци, аспирант гр. А1-21;

А. Даурембеков, магистрант гр. 4АМ01;

А. Ян, магистрант гр. 4АМ01;

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-606-389

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru

Большинство титановых сплавов являются труднообрабатываемыми материалами, поэтому для расчёта режущего инструмента на прочность исследование распределения (эпюр) контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа на задней поверхности режущего инструмента является важной, но сложной задачей. Метод разрезного резца может быть использован для получения эпюр на передней поверхности, но только на некотором удалении от режущей кромки из-за поломки пластин при попытке к ней приблизиться [1, 2].

При обработке титановых сплавов образуется сегментная стружка, близкая по слабой связанности элементов к элементной, поэтому длина контакта стружки с передней поверхностью c небольшая, $c \approx 3 \cdot a$ (мм), где a – толщина среза (мм), что затрудняет исследование распределения. Из-за сложности применения разрезного резца и малой длины контакта стружки c большинством исследователей принимается, что эпюры σ при образовании элементной стружки имеет треугольный характер (рис. 1) [2].

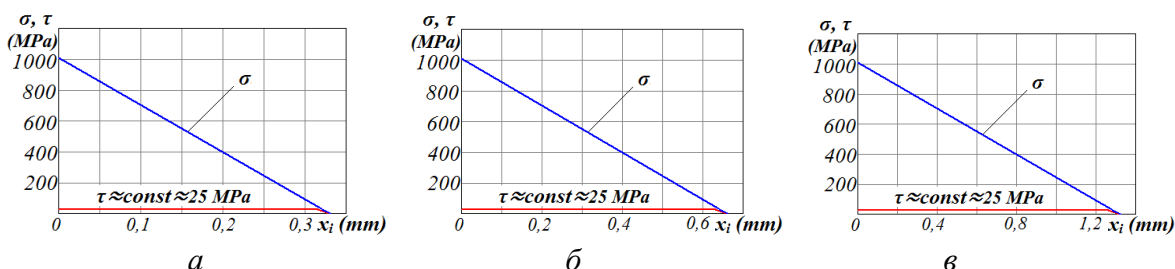


Рис. 1. Эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца при прямоугольном свободном течении диска из титанового сплава (Ti-6Al-2Mo-2Cr). ВТЗ-1 - ВК8, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $v = 1$ м/с. а) $f = 0,11$ мм/об; б) $f = 0,21$ мм/об; в) $f = 0,41$ мм/об. Абсцисса – расстояние от режущей кромки на передней поверхности x_i (мм).

Пределом величины наибольшего нормального контактного напряжения σ_{\max} у режущей кромки принято принимать удвоенную величину предела прочности на растяжение ($\sigma_{\max} \leq \sigma_B$) [1, 2, 3]. Для оценки правильности построения эпюр σ рассчитывается нормальная сила N_σ на передней поверхности по эпюре нормальных контактных напряжений σ , которая должна быть равна нормальной силе по эксперименту $N_{\text{экс}}$, т.е. $N_\sigma = N_{\text{экс}}$.

При треугольном характере эпюры σ нормальная сила, рассчитанная по эпюре σ , будет равна $N_\sigma = b \cdot (\sigma_{\max} \cdot c) / 2$, где b – ширина среза, мм. При малом уширении стружки, что справедливо для неизношенного инструмента, ширина среза будет приблизительно равна длине участка главной режущей кромки резца b_p , удаляющего стружку. Наши расчёты показали, что в случае принятия гипотезы $\sigma_{\max} \approx \sigma_B$, в какой-то мере подтверждается справедливость треугольного распределения σ (рис. 1).

Выделение сил на передней поверхности можно выполнять методом экстраполяции на

нулевую толщину среза a [1, 2]. При прямоугольном свободном точении диска с радиальной подачей толщина среза a (мм) равна радиальной подаче f (мм/об).

Анализ графиков влияния толщины среза a (мм) на тангенциальную P_z и радиальную P_y составляющие силы резания при прямоугольном свободном точении диска острым резцом с радиальной подачей f (мм/об) (рис. 2) показал, что сила трения на режущей кромке F_p , противоположная вектору скорости резания v (м/с) и равная составляющей силы резания на передней поверхности $P_{zп}$ при $a = f = 0$ мм равна нулю, т.е. коэффициент трения мал.

Нормальная сила на режущей кромке N_p , совпадающая по направлению с силой резания на передней поверхности $P_{yп}$ при толщине среза $a = 0$ мм имеет существенную величину ($N_p = 420$ Н) из-за давления со стороны поверхности резания.

Эпюры нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности резца изучалось методами разрезного резца и переменной длины фаски на задней поверхности h_z [1], а **вблизи режущей кромки** – только переменной длиной фаски на задней поверхности [2] (рис. 3).

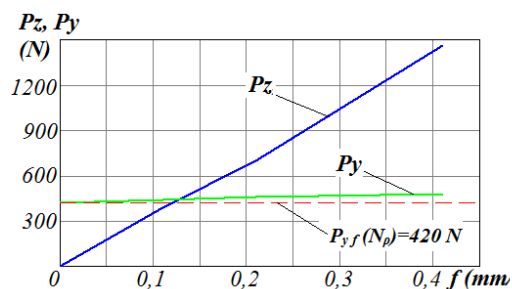


Рис. 2. Влияние подачи f (мм/об) на составляющие силы резания при прямоугольном свободном точении диска из титанового сплава ВТ3-1 остро заточенным резцом. ВТ3-1 – ВК8, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $v = 1$ м/с, $b = 2,3$ мм

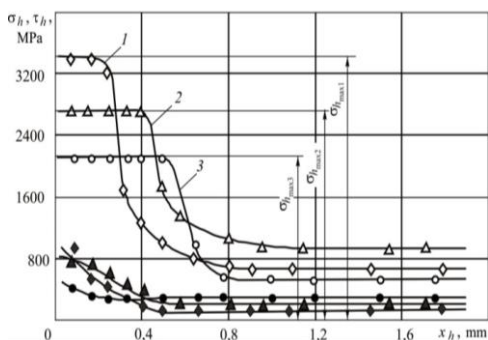


Рис. 3. Эпюры нормальных σ_h (\diamond , Δ , \circ) и касательных τ_h (\blacklozenge , \blacktriangle , \bullet) контактных напряжений на фаске задней поверхности при обработке титанового сплава ВТ3-1. Абсцисса – расстояние от режущей кромки на фаске задней поверхности x_{hi} (мм). $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $v = 1$ м/с. Подача: \diamond, \blacklozenge - $f=0,41$ мм/об; Δ, \blacktriangle - $f=0,21$ мм/об; \circ, \bullet - $f=0,11$ мм/об.

Анализ полученных эпюр нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений показал, что у режущей кромки величина наибольшего нормального контактного напряжения превышает предел прочности на растяжение обрабатываемого титанового сплава ВТ3-1, что связано с жёсткостью контакта резца с заготовкой по задней поверхности (рис. 3).

Список литературы:

1. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter/V.N. Kozlov, Jia Yu Zhang, Jian Cui, M. N. Bogolyubova // Key Engineering Materials Scientific Journal: – 2017. – Vol. 743: High Technology: Research and Applications (HTRA 2016), p. 258-263;
2. Calculation of Contact Stresses during Titanium Alloy Cutting / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials Scientific Journal: – 2018. – Vol. 769: High Technology: Research and Applications (HTRA 2017), p. 364-370.

ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ К МАШИННОМУ ОБУЧЕНИЮ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Р.И. Юсупов, В.В. Фёдоров, Р.О. Черепанов, И.Ю. Кузьменко, В.А. Юркина,
Хань Цзэли, В.А.Клименов
Р.И. Юсупов, аспирант гр.А0-21,
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: yusupov7@tpu.ru*

Несмотря на широкое распространение аддитивных технологий в различных областях промышленности и медицины, в том числе и с применением металлов и их сплавов, однако существует много проблем, которые необходимо решить с целью надёжного и уверенного применения напечатанных деталей в ответственных изделиях. Сложность проблем, которые необходимо решить для внедрения технологий 3Д-печати, обусловлено тем, что в случае применения металлических материалов, приходится использовать высокоэнергетические источники, такие как лазеры и электронные лучи. Организация самого процесса печати, когда проводится послойное сплавление порошка или проволоки сканирующим электронным или лазерным лучом, обуславливает сложность процессов формо- и структурообразования, которые трудно описать с позиций классической металлургии. Формирующиеся в таких условиях металлы и сплавы обладают специфической макро и микро структурой и дефектностью, которые и определяют неоднородность и анизотропию свойств материала изделия. Естественно, что в таких условиях велика роль автоматизации процессов, а моделирование необходимо для предсказания условий, в которых происходит структуро- и фазо-образование материала, и прогнозирование свойств.

В ТПУ разрабатывается собственное электронно-лучевое оборудования для осуществления 3Д-печати порошковыми материалами и проволокой [1]. Для управления установкой было разработано программное обеспечение, которое предназначено для управления установкой для электронно-лучевого сплавления металлических порошков в условиях вакуума [2]. Программа обеспечивает сбор информации с датчиков вакуума, управление линейным перемещением манипулятора, отклонением пучка посредством G-code, ввод параметров силы тока фокусировки и напряжения ускорения.

С физической точки зрения важны термические условия на всех стадиях нагрева и оплавления материала при электронно-лучевом воздействии и условия кристаллизации материала при охлаждении. Для анализа таких условий наиболее подходящим является применение численных методов для изучения протекающих процессов, причём как с использованием стандартных программ, так и на основе собственных подходов [3].

С развитием компьютерных технологий, таких как нейронные сети и машинное обучение на их основе, стало возможным предугадывать появление нужных свойств материалов [4]. Более того, основные проблемы при изготовлении конструкций методом ЭЛАП, такие как раковины, появление пор, текучесть металла, можно смоделировать и устранить на цифровых двойниках. По сути, имея множество данных о расплаве материала в ванне, мощности луча и подачи проволоки – можно построить математическую модель. Но имея огромное их количество, причём данные приходится обрабатывать не только в виде цифр, но и в виде изображений, полученные с фото-видео-камер, задачи становятся трудоемкими. На помощь приходит машинное обучение, которое можно внедрить не только в банках, аэропортах и биржах, но и в аддитивном производстве [5]. На основе уже имеющихся точных данных, программа выстраивает не уже написанный алгоритм работы системы, а строит свой алгоритм. Затем создаются тестовые образцы данных и по ним калибруется поведение программы. Здесь уже прослеживается следующая закономерность: чем больше данных мы обрабатываем, тем лучше и точнее будет вести себя алгоритм. При проведении экспериментов с электронно-лучевым сплавлением проволоки гораздо удобнее

будет обрабатывать видео и фотоизображения, так как их можно получать в режиме реального времени, что способствует быстрой корректировке режимов сплавления для обеспечения заданных характеристик получаемого изделия. Поступающие данные на ЭВМ, обрабатываются через алгоритм нейросетей, сравниваются с уже известными данными, обрабатываются и если необходимо, то выполняется коррекция режимов. В общем случае на сегодняшний день оптимальными, с точки зрения затрат по времени обработки данных, написания программы и необходимых вычислительных мощностей компьютеров, считается метод К-средних [6], метод опорных векторов [7] и система рекомендаций [8]. Введу многообразия методов и подходов к решению задач в машинном обучении, многие из этих методов можно объединить в одну, которая образует в результате нейронную сеть. Такие сети, при должной настройке обеспечат эффективную обработку результатов и корректировку режимов луча, задать нужную скорость подачи проволоки и в результате иметь необходимые свойства материала, причем в любом сечении или отдельном участке конструкции, которую необходимо усилить, либо не нуждается в избыточном материале или его прочности, что способствует удешевлению конструкции, уменьшить затраты материала и энергии. С ростом популярности 3D-печати, улучшением оборудования для него и развитием IT отрасли аддитивные технологии необходимо внедрять в машиностроительной отрасли. Такая коллаборация приведет как большему развитию данной отрасли.

Список литературы:

1. Development of electron-beam equipment and technology for additive layer-wise wire cladding / V.V. Fedorov, V.A. Klimenov, A.V. Batranin, P. Ranga // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019. – Vol. 2167, № 1. – P. 020097
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021614248. «Управление установкой электронно-лучевого сплавления порошков»/ Федоров В.В., Кузьменко И.Ю., Юркина В.А., Густомясов М.А., Юсупов Р.И., Клименов В.А./ 2021г.
3. Powder and wire melting of titanium alloys by electron beam / V.V. Fedorov, V.A. Klimenov, R.O. Cherepanov, A.V. Batranin // Procedia Manufacturing. – 2019. – Vol. 37. – P. 584–591.
4. Аддитивные технологии: журнал (учредитель ООО «ПРОМЕДИА»). – 2016. – №1. – М.: ООО «ПРОМЕДИА». 44 с.
5. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
6. T. Debroy, T. Mukherjee, H. L. Wei, J. W. Elmer and J.O. Milewski, Metallurgy, mechanistic models and machine learning in metal printing. // Nature Reviews Materials 6(1). – 2020. DOI:10.1038/s41578-020-00236-1
7. Gorban A.N., Zinovyev A.Y. Principal Graphs and Manifolds, Ch. 2 in: Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques, Emilio Soria Olivas et al. (eds), IGI Global, Hershey, PA, USA, – 2009. – С. 28-59.
8. Aboutaleb, A. M. et al. Accelerated process optimization for laser-based additive manufacturing by leveraging similar prior studies. // IISE Trans. 49, 2017. – С.31–44.

**СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В
МАШИНОСТРОЕНИИ**

СТРУКТУРА ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

*Е.В. Абдульменова, инженер,
О.Ю. Ваулина, к.т.н., доцент,
С.Н. Кульков, д.ф.-м.н., профессор*

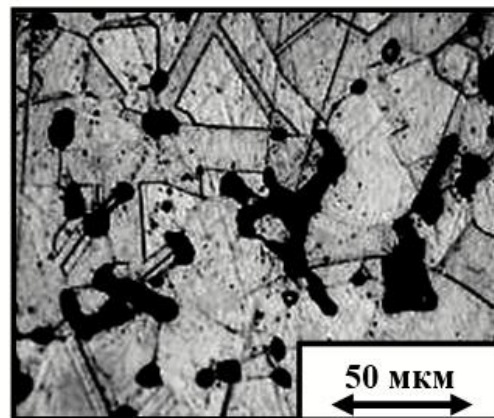
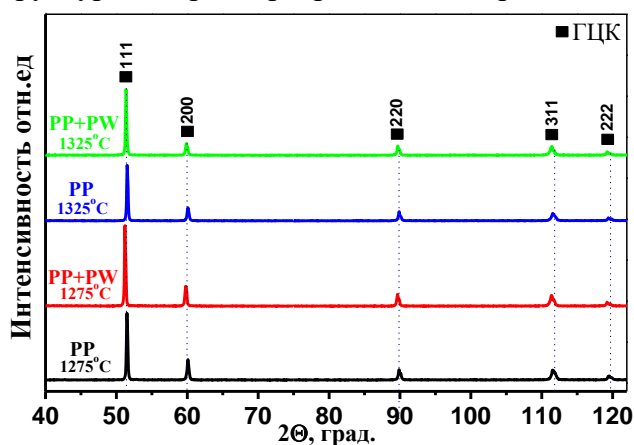
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск,
просп. Академический, 2/4,
тел. +7(903)-950-60-42*

E-mail: Ekaterina.V.Abdulmenova@yandex.ru

Инварный сплав является одним из важнейших материалов для прецизионных измерений для развития науки и техники за счёт аномально малого коэффициента теплового расширения (КТР) в широком диапазоне температур [1]. В настоящий момент быстрое развитие аддитивного производства и ММ-технологий (инжекционное формование) обеспечивает возможность изготовления высокоточных изделий миниатюрного размера [2]. Тем не менее вопрос о получении инварных сплавов данными методами с высокими физико-механическими свойствами и с сохранением низкого КТР остаётся открытым. Цель работы – изучить структуру железоникелевых сплавов, полученных методом инжекционного формования.

Методом инжекционного формования были подготовлены фидстоки на основе промышленных порошков Fe и Ni марок ВМ и ПНК-УТ, соответственно. Состав металлического компонента – 35 % масс. Ni и 65 % масс. Fe, состав связующих компонентов – низкомолекулярный парафин (PW) и высокомолекулярный полипропилен (PP) [3]. Полученные образцы прессовались при 150 МПа. После предварительного термического удаления связующего в вакуумной печи проводили спекание при температурах 1275 °С и 1325 °С, изотермическая выдержка составляла 2 ч. Металлографический анализ проводился на оптическом микроскопе. Рентгенограммы получены с помощью рентгеновского дифрактометра с фильтрованным медным излучением. Микротвёрдость спечённых образцов измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н. Дилатометрические испытания проводилось на дилатометре.

На рис. 1 а, приведены рентгенограммы сплавов, полученных из фидстоков с разными связующими при разных температурах спекания. Видно, что поле спекания сформировалась структура инварного сплава состоящая из γ -фазы с гранецентрированной кубической (ГЦК) структурой, параметры решёток которых соответствуют литературным данным [4].



(а)

(б)

Рис. 1. Рентгенограммы сплавов, полученных из фидстоков с разными связующими при разных температурах спекания (а). Типичная микроструктура сплава после травления поверхности (PP+PW, 1275 °С) (б)

Типичная микроструктура сплава после травления поверхности (PP+PW, 1275 °С) приведена на рис. 1 б. Видно, что сформировалась пористая структура, видны двойники, которые характерны γ -фазе с ГЦК структурой. С увеличением температуры спекания пористость всех образцов снижалась, при этом наименьшая пористость наблюдалась в сплаве, полученного из фидстока со связующим PP 2,7 %. Средний размер γ -фазы не зависел от температуры спекания и вида связующего и в среднем составлял 21 мкм, среднеквадратичное отклонение 8 мкм. Наибольшая микротвёрдость получена в сплавах со связующим PW+PP, при этом с увеличением температуры спекания с 1275 °С до 1325 °С микротвёрдость увеличивалась с $0,7 \pm 0,1$ ГПа до $0,8 \pm 0,1$ ГПа, соответственно. По-видимому, большая микротвёрдость в сплавах, полученных из фидстока со связующим PP+PW обусловлена содержанием большего количества цементита, образованного в результате сгорания PP+PW.

На рис. 2, приведена типичная зависимость изменения длины от температуры для сплава с минимальным КТР (α_1 и α_2), полученного из фидстока со связующим PP+PW при температуре 1325 °С. Видно, что кривая – не линейная, и можно выделить два участка – с температурами в интервалах от 0 °С до ~ 200 °С и от ~ 200 °С до 450 °С, это связано с тем, что инварные сплавы имеют разные КТР на разных температурных участках. Измеренные значения микротвёрдоты и КТР входят в интервал значений, известных из литературных данных [4, 5]

Таким образом, методом инжекционного формования были получены сплавы с гранецентрированной кубической структурой, параметры решётки которых соответствуют инварным составам. Установлено, что пористость сплава значительно зависит как от температуры спекания, так и от связующего компонента, в то время как размер зерна при этом постоянен и составляет 21 мкм. Полученная микротвёрдость и КТР советуют литературным данным, что позволяет синтезировать инварные образцы сложной геометрической формы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-48-700039 р_а.

Список литературы:

1. Maslyuk V. A., Panasyuk O. A., Vlasova O.V. Physical, technological and magnetic properties of powder iron–nickel alloys. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2003. – № 42. – P.536–539.
2. Wei K., Yang O., Ling B., et al. Mechanical properties of Invar 36 alloy additively manufactured by selective laser melting // Materials Science & Engineering A. – 2020. – V. 772. – 138799.
3. Darenskaia E. A., Vaulina O. Yu., Myachin Yu.V., Kulkov S.N. Influence of binding composition on the structure and properties of steel work-pieces obtained by injection moulding // Materials Science and Engineering – 2017. – V. 175. – 012035.
4. Hidalgo J., Jiménez-Morales A., Barriere T. et al. Mechanical and functional properties of Invar alloy for μ -MIM // Powder Metallurgy. – 2014. – № 2. – P. 127-136.
5. Konov D. A., Mosunov A.S., Adamov G.V., et al. Angular dependence of sputtering for nickel in ferro- and paramagnetic states // Vacuum. – 2002. – P. 47-53.

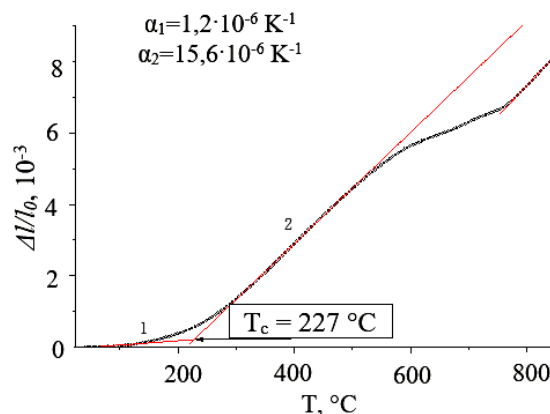


Рис. 2. Типичная зависимость изменения длины от температуры сплава, полученного из фидстока со связующим PP+PW при температуре 1325 °С

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ Cr/Ta И Cr/Mo ДЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ

А.В. Абдульменова, студентка гр. 0Б91,

Е.Б. Кашкаров, к.ф.-м.н., н.с.,

М.С. Сыртанов, к.т.н., доц.,

Д.В. Сиделёв, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: ava75@tpu.ru

В настоящее время циркониевые сплавы активно используются в ядерной энергетике при изготовлении тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) за счёт низкого сечения захвата тепловых нейтронов, высокой коррозионной и радиационной стойкости [1]. Тем не менее, возможные аварии с потерей теплоносителя (ЛОСА) могут привести к повышению температуры активной зоны, частичному или полному окислению циркониевых сплавов, и в последствии, к разрушению оболочек ТВЭЛов [2]. В данное время ведутся активные международные исследования, направленные на разработку оболочек ТВЭЛов, способных к эксплуатации как в нормальных условиях, так и обеспечивать безопасность при возможных аварийных условиях, например, ЛОСА [3]. Самым быстрореализуемым и простым путём считается применение технологий модифицирования поверхности циркониевых оболочек ТВЭЛов, позволяющих сформировать защитные покрытия, без изменения свойств циркониевых сплавов. На сегодняшний день наиболее перспективным материалом, рассматриваемым в качестве защитного покрытия для циркониевых оболочек ТВЭЛов, является хром. Однако, на границе раздела циркониевый сплав/хромовое покрытие при высоких температурах происходит формирование диффузионного слоя, который приводит к уменьшению толщины защитного хромового покрытия и может привести к ускоренной коррозии циркониевого сплава [4]. Одним из путей решения указанной проблемы является создание барьерного слоя между хромовым покрытием и циркониевым сплавом, способного предотвращать их взаимную диффузию. Целью настоящей работы является исследование барьерных свойств и коррозионной стойкости покрытий Cr/Mo и Cr/Ta, сформированных на поверхности циркониевого сплава Э110.

Покрытия наносились методом магнетронного распыления с использованием ионно-плазменной установки, разработанной в Томском политехническом университете [5]. Высокотемпературное окисление образцов проводилось в атмосферной печи ATS 3210 (Applied Test Systems Inc.) при нагреве на воздухе от 500 °С до 1100 °С со скоростью нагрева 20 °С/мин и последующей выдержкой в течение 1 ч. После окисления образцы охлаждались со скоростью ~20 °С/мин. Прирост массы образцов измеряли на аналитических весах CP 124S. Микроструктура нанесенных покрытий была проанализирована с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN VEGA3. Фазовый состав образцов исследовался методом рентгеновской дифракции с использованием рентгеновского дифрактометра XRD-7000S. Для идентификации фаз использовались база данных PDF4+ 2021 и программа «Search Match».

В ходе данной работы были исследованы барьерные свойства промежуточных слоёв Mo и Ta, сформированных между Cr покрытием и подложкой из сплава Э110, и защитной хромовой оболочкой по сравнению с однослойным хромовым покрытием. СЭМ изображения осаждённых покрытий показали формирование плотной столбчатой структуры покрытий для всех типов покрытий. Высокотемпературное окисление образцов показало, что однослойное хромовое покрытие имеет наименьший прирост веса по сравнению с двухслойными покрытиями (рисунок 1).

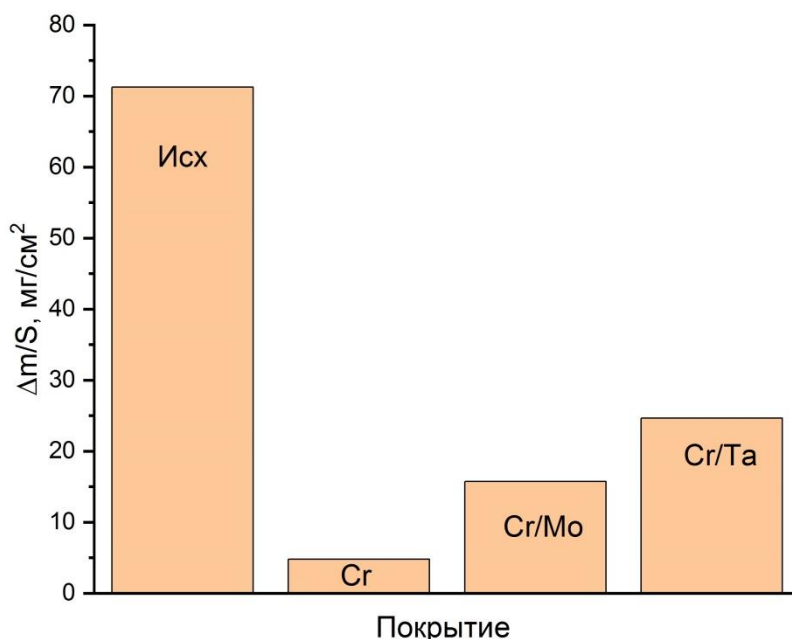


Рис. 1. Сравнительная диаграмма привесов окисленных образцов.

Анализ дифрактограмм в процессе линейного нагрева образцов с барьерным подслоем Мо, полученных с использованием источника синхротронного излучения ВЭПП-3, продемонстрировал образование фазы Mo_2Zr при достижении 1200 °С. Образование этой фазы указывает на диффузию Мо в циркониевый сплав при высоких температурах также, как и хром в цирконий в однослойных хромовых покрытиях. В случае образца с промежуточным слоем из тантала, формирование интерметаллидных фаз в системе Zr-Ta-Cr не наблюдалось. Такое поведение может свидетельствовать об эффективном подавлении взаимной диффузии хрома и циркония. Однако результаты высокотемпературного окисления указывают на то, что окисление образца с танталовым слоем происходит наиболее активно. Возможно это связано с влиянием азота на динамику окисления покрытий. Для понимания механизма окисления циркониевого сплава на воздухе с защитным хромовым покрытием и барьерным танталовым слоем необходимо провести комплексное исследование изменения структурно-фазового состояния системы Zr-Ta-Cr после высокотемпературного окисления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-79-00175.

Список литературы:

1. Allen T. R., Konings R. J. M., Motta, A. T. Corrosion of zirconium alloys // *Comprehensive nuclear materials*. – 2012. – Vol. 5. – P. 49-68.
2. Zinkle S. J., Terrani K. A., Gehin J. C., Ott L. J., Snead L. L. Accident tolerant fuels for LWRs: A perspective // *Journal of Nuclear Materials*. – 2014. – Vol. 448, No. 1-3. – P. 374-379.
3. Terrani K. A. Accident tolerant fuel cladding development: Promise, status, and challenges // *Journal of Nuclear Materials*. – 2018. – Vol. 501. – P. 13-30.
4. Brachet J. C., Rouesne E., Ribis J., Guilbert T., Urvoy S., Nony G., Toffolon-Masclat C., Le Saux, M., Chaabane N., Palancher H. High temperature steam oxidation of chromium-coated zirconium-based alloys: Kinetics and process // *Corrosion Science*. – 2020. – Vol. 167. – P. 108537.
5. Sidelev D. V., Kashkarov E. B., Syrtanov M. S., Krivobokov V. P. Nickel-chromium (Ni-Cr) coatings deposited by magnetron sputtering for accident tolerant nuclear fuel claddings // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – Vol. 369. – P. 69-78.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ И ТЕПЛОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

^{1,2}С.А. Аккузин, м.н.с., ²А.В. Ким, студент гр. 051810

^{1,2}И.Ю. Литовченко, д.ф.-м.н., доцент, ^{1,2}Е.Н. Москвичев, к.ф.-м.н., м.н.с.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,

тел. +7(952)-162-4143

E-mail: s.a.akkuzin@gmail.com

Аустенитные стали используются в качестве конструкционных материалов ядерной энергетики. Для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) современных реакторов на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800 применяются аустенитные стали ЧС-68 (06X16N15M2Г2ТФР) и ЭК-164 (07X16N19M2Г2БТР) [1]. Последняя, в отличие от ЧС-68, обладает повышенным содержанием никеля, что обеспечивает высокую стабильность аустенита в широком температурном интервале. Кроме того, сталь ЭК-164 содержит большое количество карбидообразующих элементов – Ti, Nb, V, а также дополнительно легирована В, Si, Се и Р с целью повышения сопротивления радиационному набуханию [2]. В результате сталь ЭК-164 меньше набухает при облучении, чем сталь ЧС-68 [1]. Указанные стали используются в качестве оболочек ТВЭЛов в холоднодеформированном состоянии (до 30%). Микроструктура стали ЭК-164 в таком состоянии была исследована ранее [3].

В настоящей работе изучено влияние последовательности высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), состоящей из горячей и теплой пластической деформации прокаткой ($\approx 50\%$ за 1 проход с нагревом до 1100 °С; $\approx 50\%$ за 1 проход с нагревом до 900 °С; $\approx 45\%$ за 2 прохода с нагревом до 600 °С) на микроструктуру стали ЭК-164.

Методами растровой электронной микроскопии (с использованием дифракции обратно-рассеянных электронов) показано, что исходный размер зерен аустенита составляет $\approx 19,3$ мкм, а с учетом двойниковых границ $\langle 111 \rangle 60^\circ \approx 7,7$ мкм. Доля высокоугловых границ достигает более 99%. При этом большая часть из них составляют границы специального типа $\Sigma 3$ (73,7%) и $\Sigma 9$ (4,6%). Эти границы формируются в результате отжига 1100 °С, 1 ч. В зернах аустенита обнаружены крупные (до нескольких мкм) частицы карбидов типа МХ, обогащенные Nb и Ti (рис. 1 а). Объемная доля частиц не превышает 1%.

Применение последовательности горячей и теплой пластической деформации с нагревом до 1100, 900 и 600 °С с общей степенью деформации $e \approx 2$ (где e – истинная деформация) приводит к развитию процессов фрагментации зерен стали (рис. 1 б). При высоких температурах деформации (1100 и 900 °С) в процессе фрагментации формируется множество новых малоугловых границ. Применение последующей теплой деформации с нагревом до 600 °С за 2 прохода способствует измельчению и существенному вытягиванию зерен в направлении прокатки. Формируется фрагментированная микроструктура, состоящая из искривленных пластин с мало- и высокоугловыми границами.

Анализ дефектной микроструктуры стали показал, что после последовательности горячей и теплой деформации средний размер зерен составляет $\approx 1,8$ мкм. Доля границ специального типа $\Sigma 3$ уменьшается до менее 1%. Это связано с повышенной температурой и высокой степенью деформации. При этом микродвойники не образуются, а имеющиеся двойниковые границы становятся границами общего типа. Доля высокоугловых границ уменьшается до $\approx 44,8\%$, а доля малоугловых увеличивается до 55,2%. Из рис. 1 б видно, что фрагментация зерен протекает неоднородно, часть структуры выглядит более деформированной. Это может

быть связано с локализацией деформации и частичным возвратом и рекристаллизацией при нагреве до 900 °С перед деформацией. Были обнаружены отдельные равноосные зерна аустенита размером менее 1 мкм.

Таким образом, исследовано влияние горячей и теплой деформации прокаткой на микроструктуру аустенитной стали ЭК-164. Высокая степень пластической деформации прокаткой ($e \approx 2$) приводит к формированию высокодефектной фрагментированной структуры, состоящей из вытянутых искривленных пластин. Средний размер зерен уменьшается более чем в 10 раз, по сравнению с исходным размером зерна. В процессе ВТМО формируются новые высоко- и малоугловые границы, а специальные границы трансформируются в границы общего типа.

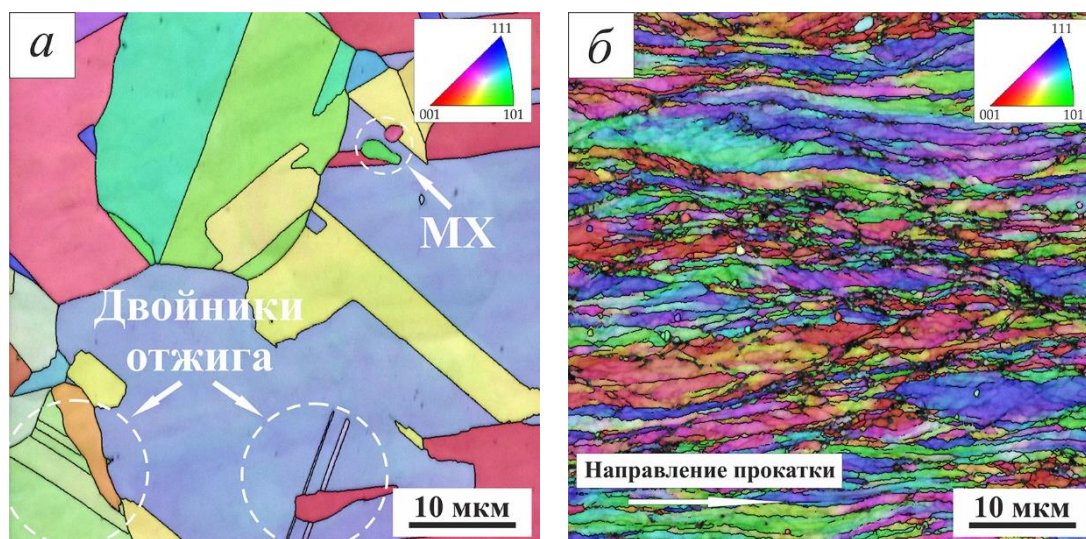


Рис. 1. Микроструктура аустенитной стали ЭК-164. Ориентационные карты: *a* – исходное состояние, *б* – горячая и теплая деформация при 1100 °С, 900 °С и 600 °С.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (2021–2023 гг.). Авторы выражают благодарность Чернову В.М. и Митрофановой Н.М. за предоставленные образцы стали ЭК-164.

Список литературы:

1. Мосин А.М., Евсеев М.В., Портных И.А., Щербаков Е.Н., Шихалев В.С., Митрофанова Н.М., Козлов А.В. Изменение физико-механических свойств оболочек ТВЭЛов из сталей ЭК164 и ЧС68 после эксплуатации в реакторе БН-600 в течение четырех микрокампаний // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. 2011. №1. С. 224–229.

2. Митрофанова Н.М., Леонтьева-Смирнова М.В., Иванов Ю.А, Чурюмова Т.А., Васильев Б.А., Фарахин М.Р., Сараев О.М., Ошканов Н.Н., Чуев В.В., Бычков С.А., Ильяшик М.И. ТВЭЛ реактора на быстрых нейтронах // Полезная модель к патенту РФ № 127235. Заявл. 20.11.12; Опубл. 20.04.2013. БИ №11. С. 10.

3. Аккузин С.А., Литовченко И.Ю. Влияние температуры пластической деформации на микроструктуру и механические свойства аустенитной стали ЭК-164 // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. №2. С. 7–14.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ СВС

В.И. Верецагин, д.т.н., профессор¹

К. А. Болгару, к.т.н., старший научный сотрудник²

А.А. Регер, аспирант¹, младший научный сотрудник²

¹*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30*

²*Томский научный центр СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/4,
тел. 89539263877*

E-mail: regerwork1@gmail.com

Материалы на основе сиалона обладают уникальными физико-химическими свойствами: термостойкостью, высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью и т.д. [1]. Пористые изделия на основе сиалона могут быть использованы в качестве фильтров, носителей катализаторов, фотокатализаторов, огнеупоров и т.д.

В настоящее время существует множество способов получения пористой керамики на основе сиалона. На наш взгляд, наиболее технологичным и экономически обоснованным способом получения материалов на основе сиалона является метод фильтрационного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) совмещенный с использованием предварительно структурированных пористых образцов. СВС характеризуется высокой энергоэффективностью, непродолжительным временем синтеза и относительно простым оборудованием [2]. Дополнительно снизить себестоимость полученных материалов методом СВС позволяет использование в качестве исходных материалов дешевых и доступных ферросплавов [3].

В данной работе с целью получения сиалонсодержащих композитов с заданной пористостью предложено использование в процессах СВС азотирования предварительно структурированных образцов на основе ферросплава. Предварительное структурирование производили простым способом без использования дорогостоящих добавок и высоких временных и энергетических затрат.

В качестве исходного материала был использован сложный ферросплав – ферросиликоалюминий (ФСА). По результатам рентгенофазового анализа ФСА является многофазным материалом и содержит фазы: Si, FeSi₂, Al_{0.5}Fe_{0.5} и Al₃Fe₂Si₃. По результатам химического анализа ФСА состоит из 40.2 % Fe, 46.5 % Si и 13.3 % Al.

Перед синтезом исходный ФСА отсеивали до размера частиц не более 80 мкм. Затем порошок смешивали с водно-щелочным раствором и полученный шликер заливали в цилиндрическую форму диаметром 65 мм. Результатом химической реакции порошка с щелочным раствором являлось газовыделение, обеспечивающее образование пор в образце, и создание устойчивой структуры, позволяющей сохранять заданную форму. Затем исходные образцы выдерживали в течение суток до полного протекания реакции и высушивали в сушильном вакуумном шкафу. Высушенные пористые образцы заданной формы сжигали в условиях естественной фильтрации при давлении азота 4 МПа в установке постоянного давления.

Горение пористых образцов в атмосфере азота протекало с высоким тепловыделением, которое обусловлено реакциями кремния и алюминия с азотом. Максимальная температура азотирования пористых образцов соответствует значению 2100±15 °С.

Как показано на рисунке 1 с увеличением концентрации NaOH в исходном шликере увеличивается средний размер пор и общая пористость композитов. Данная зависимость связана с тем, что появление пор в исходном композите обусловлено выделением газа, который образуется в результате химической реакции между порошком и щелочью. Выделившийся газ прodelывает различные поры и каналы.

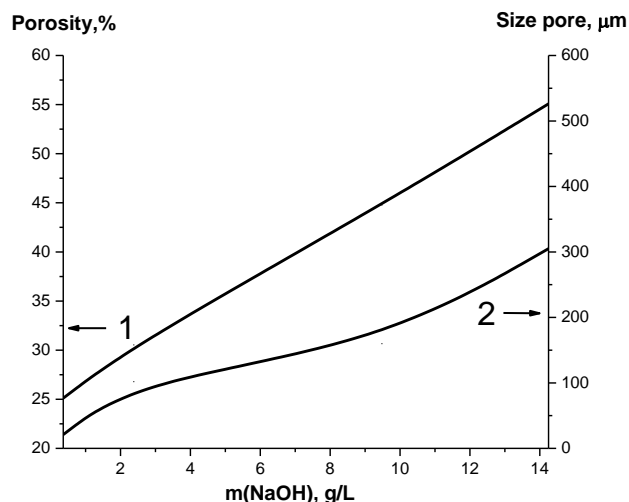


Рисунок 1. Зависимость размера пор (2) и общей пористости (1) от содержания щелочи в исходном шликере.

По результатам рентгенофазового анализа полученные образцы содержат фазы: α -Fe, β - Si_3N_4 , Fe_3Si , FeSi , Fe_5Si_3 и β - SiAlON . Наличие фаз силицидов железа (Fe_3Si , FeSi , Fe_5Si_3) свидетельствует о незавершенности протекания химических реакций. Неполное протекание реакции азотирования связано со скоротечностью процессов СВС. Высокая скорость прохождения волны горения приводит к недостаточному времени пребывания исходного порошка в зоне реакции.

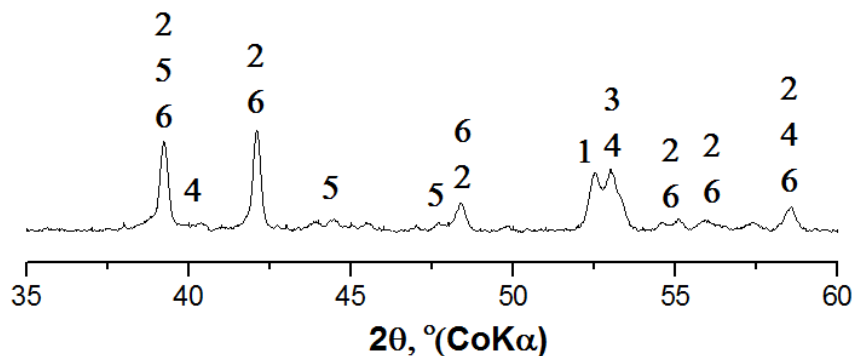


Рисунок 2. Фрагмент рентгенограммы азотированного структурированного образца с общей пористостью 45 % (1 - α -Fe, 2 - β - Si_3N_4 , 3 - Fe_3Si , 4 - FeSi , 5 - Fe_5Si_3 , 6 - β - SiAlON).

Таким образом, методом СВС с использованием предварительно структурированных образцов на основе ФСА получен композиционный сиалонсодержащий материал с заданной пористостью.

Список литературы:

1. Reddy K. M., Saha B. P. Effects of porosity on the structure and properties of β - SiAlON ceramics // Journal alloys and compounds. – 2019. – V 779. – P. 590-598.
2. Yeh C.L. Combustion synthesis: principles and applications // Reference module in materials science and materials engineering. – 2016. - P 1-8.
3. Болгару К.А., Верещагин В.И., Регер А.А., Скворцова Л.Н. Синтез сиалона и нитридных фаз на основе ферросиликоалюминия с добавками маршалита в режиме горения // Новые огнеупоры – 2020. - № 11. – с. 34-37.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ СИНТЕЗА КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ SiAlON

¹Власов В.А., ¹Клопотов А.А., ¹Безухов К.А., ³Голобоков Н.Н., ¹Волокитин Г.Г., ¹Шеховцов В.В., ¹Власов Ю.А.,

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003,
г. Томск, пл. Соляная, 2

³Томский филиал Института структурной макрокинетики СО РАН, 634055,
г. Томск, проспект Академический, 10/4

e-mail: bezuhov_k@mail.ru

Керамика в системе SiAlON относится к группе высокотемпературных материалов конструкционного назначения, благодаря уникальному комплексу физико-механических свойств. Конструкционная керамика на основе фаз α -SiAlON и β -SiAlON, является универсальным материалом для применения в различных сферах: в приборостроении, машиностроении, в авиакосмической отрасли и др. β -SiAlON представляет собой соединение с широкой областью гомогенности и описываемое формулой $Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z}$ ($1 \leq z \leq 4.2$) [1]. Для синтеза керамического материала на основе SiAlON широко используют разные методы: карботермическим азотированием, самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) и др. [2].

Работ, посвященных получению керамического материала на основе SiAlON при помощи плазмохимического синтеза с использованием энергии низкотемпературной плазмы в литературе не много.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей синтеза SiAlON, проведенного при помощи воздействия энергии низкотемпературной плазмы в атмосфере азота.

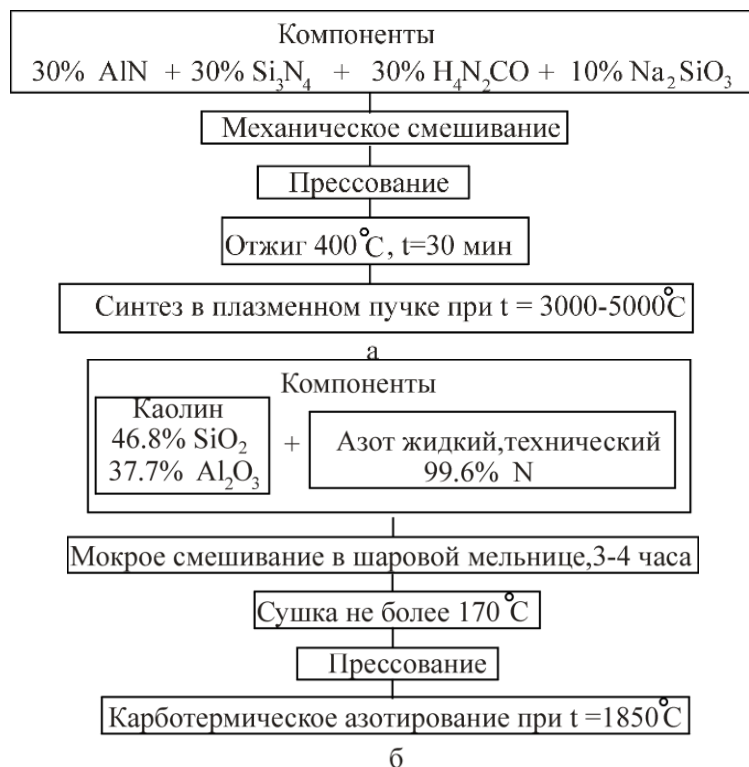


Рис. 1. Схемы, описывающие этапы подготовки образцов для синтеза SiAlON в плазменном реакторе (а) и карботермическим азотированием (б)

Подготовка исходного сырья для синтеза керамического материала на основе SiAlON разными способами, происходит в зависимости от применяемых алюмосиликатных

компонентов. На рис.1 а, б для сравнения представлены схемы синтеза керамики на основе SiAlON с помощью энергии термической плазмы и методом карботермического азотирования, соответственно.

Для синтеза в керамики на основе SiAlON использовали плазменный реактор (рис.2). Плазмохимический синтез проводили в струе низкотемпературной плазмы в среде азота. Для этого был использован плазменный генератор типа ВПР-410 НПП [3].

Рентгеноструктурное исследование, полученного материала проводили на дифрактометре ДРОН-3.



Рис. 2. Фотография плазмохимического реактора: 1 – плазматрон; 2 – реактор; 3 – трубопровод подачи азота в реактор; 4 – плазменная струя; 5 – трубопровод подачи азота в реактор в плазматрон; 6 и 7 – патрубки для водяного охлаждения реактора

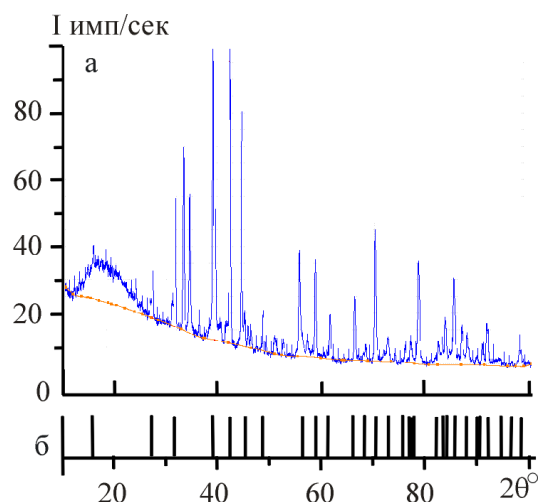


Рис. 3. Дифрактограмма образца, снятого в $\text{CoK}\alpha$ излучении, синтезированного при помощи энергии плазмы (а). Штрих диаграмма соединения сиалона AlN_7OSi_5 (б)

На рис.3 представлена дифрактограмма материала, полученного после плазмохимического синтеза в плазматроне. Рентгенофазовым анализом установлено, что плазмохимическим синтезом в струе низкотемпературной плазмы произошло образование β -SiAlON состава AlN_7OSi_5 с гексагональной сингонией (символ Пирсона $hP14$, пространственная группа $R\bar{6}_3/m$).

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерств науки и высшего образования РФ (номер проекта FEMN-2020-0004).

Список литературы:

1. Neshpor I.P., Panasyuk A.D., Pshenichnaya O.V., Lavrenko V.A. The structure and properties of $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ SiAlON hot-pressed from powders with activating oxide additions. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2014, V.53, P.449–457.
2. Григорьев О.Н., Дубовик Т.В., Винокуров В.Б., Котенко В.А., Субботин В.И., Клименко Л.И. Горячепрессованный сиалон - перспективный материал для создания слоистых ударопрочных композитов. Огнеупоры и техническая керамика. 2007, №2 с. 10-14.
3. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Применение плазменных технологий для модификации поверхности различных строительных материалов. Актуальные проблемы современности. 2016, № 1(11), с.144-149.

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ МАГНЕТРОННОГО ДИОДА НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ CrN_x ПОКРЫТИЙ

*В.А. Грудинин, аспирант гр. А8-08,
А.А. Руни, студент гр. ОДМ01,
Г.А. Блейхер, д.ф.-м.н., профессор НОЦ Б.П. Вейнберга
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777 доб. 5413
E-mail: yag35@tpu.ru*

Реактивное магнетронное распыление является одним из наиболее перспективных методов формирования сложных по составу функциональных покрытий, например, износостойких, упрочняющих, коррозионно-стойких, фотокаталитических и др. [1]. Однако, несмотря на большое количество преимуществ рассматриваемой технологии осаждения (высокая адгезионная прочность покрытий, большое число управляющих параметров системы осаждения, возможность регулирования стехиометрии покрытий и др.), существуют и значительные недостатки, которые сдерживают её развитие и применение. Основные недостатки: относительно низкая скорость осаждения сложных по составу покрытий (~1 нм/с и ниже), возникновение нестабильностей разряда ввиду «отравления» поверхности мишени в реактивной среде [2]. В целях решения этих проблем предлагается использовать несколько приёмов: 1) использование пространственного разделения напуска рабочего (аргон) и реактивного (азот/кислород и др.) газов; 2) для обеспечения диссоциации, возбуждения и ионизации реактивного газа использовать высокочастотный источник индуктивно-связанной плазмы; 3) использование частично теплоизолированной мишени, способной к сублимации, что позволит значительно повысить интенсивность эрозии мишени. Ранее в работе [3] нами была показана работоспособность такого подхода на примере осаждения плёнок соединения азота и хрома в случае, когда поток сублимированных атомов хрома не превышал поток распылённых частиц.

В настоящей работе показано влияние мощности магнетронной распылительной системы (МРС) на скорость осаждения покрытий соединения азота и хрома и их фазовый состав.

В экспериментах были установлены следующие параметры: мощность высокочастотного (ВЧ) источника - 500 Вт, поток аргона - 45 см³/мин, поток азота – 55 см³/мин, потенциал смещения на подложке – (-50) В. Остаточное давление в рабочей камере составляло не более 2·10⁻³ Па. Рабочее давление составляло 0,6 Па. В качестве подложек использовалась сталь марки 12Х18Н10Т. Плотность мощности МРС варьировалась в диапазоне от 15,9 до 27,9 Вт/см².

На рисунке 1 показана зависимость скорости осаждения покрытий от плотности мощности МРС с «горячей» мишенью.

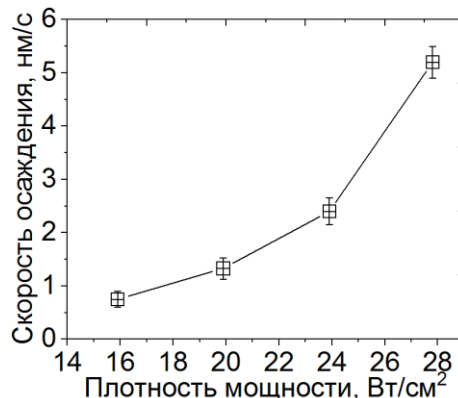


Рис. 1. Зависимость скорости осаждения CrN_x покрытий от плотности мощности МРС.

Скорость осаждения повышается практически по экспоненциальному закону ввиду интенсивной сублимации хромовой мишени. Максимальная скорость осаждения составила более 5 нм/с в условиях планетарного вращения подложек в вакуумной камере.

Для исследования влияния плотности мощности МРС на фазовый состав покрытий были выполнены дифракционные измерения осаждённых покрытий (рисунок 2).

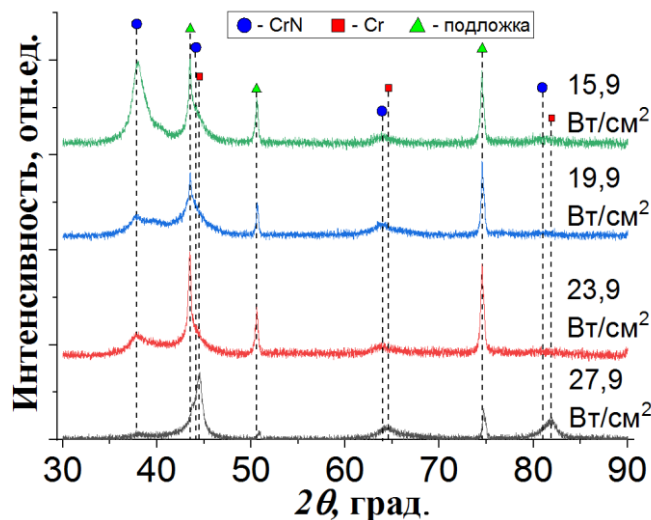


Рис. 2. Рентгенограммы CrN_x покрытий в зависимости от плотности мощности МРС.

Согласно рис. 2, при увеличении скорости осаждения наблюдается значительное увеличение доли фазы Cr в покрытиях и снижение интенсивности рефлексов, характерных для фазы CrN.

Таким образом, для формирования покрытия нитрида хрома с высокой скоростью осаждения необходимо значительно увеличивать поток атомарного азота, который будет поступать на подложку вблизи МРС. Рассмотренный технологический подход является важным для дальнейшего развития высокоскоростного реактивного магнетронного распыления сложных по составу покрытий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90134.

Список литературы:

1. Bräuer G., Szyszka B., Vergöhl M, Bandorf R. Magnetron sputtering – Milestones of 30 years // Vacuum. – 2010. - vol.84, iss.12. – p. 1354-1359.
2. Westwood W. D. Sputter Deposition Processes // MRS Bulletin. – 1988. – vol.13, iss.12. – p. 46-51.
3. Grudin V.A., Sidelev D.V., Bleykher G.A. et al. Hot target magnetron sputtering enhanced by RF-ICP source for CrN_x coatings deposition // Vacuum. – 2021. – vol. 191. – article number 110400.

**О ВНУТРЕННЕМ ТРЕНИИ ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ПРИ
ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЯХ БЕСКОНЕЧНОЙ СМЕШАННОЙ ДИСЛОКАЦИИ В
РЕЛЬЕФЕ ПАЙЕРЛСА**

В.В. Дежин, к.ф.-м.н., доц.

Воронежский государственный технический университет,

394026, г.Воронеж, Московский пр., 14,

тел. (8473)2464222

E-mail: viktor.dezhin@mail.ru

В настоящей работе рассмотрено внутреннее трение при изгибных колебаниях бесконечной смешанной дислокации (линейного дефекта кристалла) в бездиссипативной среде. Аналогичное исследование проведено ранее автором в работе [1] для краевой дислокации. Диссипация энергии происходит за счет радиационного трения дислокации (излучения упругих волн). Практическая значимость данной работы обусловлена тем, что при работе изделий машиностроения возникают напряжения кристаллической структуры материалов, которые приводят к колебаниям дефектов кристаллов.

Проведем ось Oz вдоль линии дислокации и рассмотрим малые изгибные колебания смешанной дислокации. Учтем наличие рельефа Пайерлса в реальных кристаллах. Тогда обратная обобщенная восприимчивость смешанной дислокации запишется в виде:

$$\begin{aligned} \alpha^{-1}(k_z, \omega) = & \pi \left(\sigma_P^{(e)} + \frac{b_s^2}{b_e^2} \sigma_P^{(s)} \right) - \frac{\mu b_e^2}{8\pi} \left[-(1+\gamma)k_z^2 + \frac{\omega^2}{c_t^2} \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_t^2} + \right. \\ & + \gamma \left(\frac{\omega^2}{c_l^2} - 2k_z^2 \right) \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} + \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \ln \frac{k_z^2 - \omega^2/c_t^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} \left. \right] - \frac{\mu b_s^2}{8\pi} \left[-k_z^2 + \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - 3k_z^2 \right) \times \right. \\ & \left. \times \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_t^2} + 4\gamma k_z^2 \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} - 4 \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \ln \frac{k_z^2 - \omega^2/c_t^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь использованы результаты работ [2, 3], k_z – компонента волнового вектора вдоль линии дислокации, ω – частота колебаний дислокации, $\sigma_P^{(e)}$ и $\sigma_P^{(s)}$ – напряжения Пайерлса для краевой и винтовой дислокаций, b_e и b_s – краевая и винтовая компоненты вектора Бюргера \mathbf{b} , μ – модуль сдвига, $\gamma = c_t^2/c_l^2$, c_t и c_l – скорости поперечных и продольных звуковых волн, k_m – максимальное волновое число. Случай $|k_z| < \omega/c_l < \omega/c_t$ исследован в работе [1] для краевой дислокации. Рассмотрим случай $\omega/c_l < |k_z| < \omega/c_t$ и разделим выражение (1) на действительную и мнимую части. Среднюю величину энергии, излучаемой единицей длины дислокации за период колебаний, находим по формуле [4]

$$\Delta W = \pi \operatorname{Im} \alpha(k_z, \omega) (\sigma b)^2 = 8\pi^3 \frac{\sigma^2}{\mu} \left[\frac{b_e^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) + \frac{b_s^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - 3k_z^2 + 4 \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) \right] / \varphi(k_z, \omega),$$

где σ – амплитуда переменного внешнего напряжения, действующего на дислокацию,

$$\begin{aligned} \varphi(k_z, \omega) = & \left\{ \frac{8\pi^2 \sigma_P^{(e)}}{\mu b^2} + \frac{8\pi^2 \sigma_P^{(s)}}{\mu b^2} \frac{b_s^2}{b_e^2} - \frac{b_e^2}{b^2} \left[-(1+\gamma)k_z^2 + \frac{\omega^2}{c_t^2} \ln \frac{k_m^2}{\omega^2/c_t^2 - k_z^2} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \gamma \left(\frac{\omega^2}{c_l^2} - 2k_z^2 \right) \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} + \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \ln \frac{\omega^2/c_t^2 - k_z^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} \right] - \frac{b_s^2}{b^2} \left[-k_z^2 + \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - 3k_z^2 \right) \times \right. \right. \end{aligned}$$

$$\times \ln \frac{k_m^2}{\omega^2/c_t^2 - k_z^2} + 4\gamma k_z^2 \ln \frac{k_m^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} - 4 \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \ln \frac{\omega^2/c_t^2 - k_z^2}{k_z^2 - \omega^2/c_l^2} \Big] + \pi^2 \left\{ \frac{b_e^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) + \frac{b_s^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - 3k_z^2 + 4 \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) \right\}^2 .$$

В итоге внутреннее трение для случая $\omega/c_l < |k_z| < \omega/c_t$ запишется в виде

$$Q^{-1} = \frac{\Delta W}{2\pi W} \rho_d = 8\pi^2 \rho_d \theta \left[\frac{b_e^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) + \frac{b_s^2}{b^2} \left(\frac{\omega^2}{c_t^2} - 3k_z^2 + 4 \frac{k_z^4 c_t^2}{\omega^2} \right) \right] / \varphi(k_z, \omega). \quad (2)$$

Здесь $W = \sigma_0^2 / (2\mu)$ – общая колебательная энергия единицы объема кристалла, σ_0 – амплитуда переменного внешнего напряжения в кристалле, ρ_d – плотность дислокаций, $\theta = \sigma^2 / \sigma_0^2$ – фактор ориентировки. Формула (2) определяет пик внутреннего трения резонансного типа. На рис. 1 приведены частотные зависимости внутреннего трения, построенные по формуле (2) для кристалла алюминия.

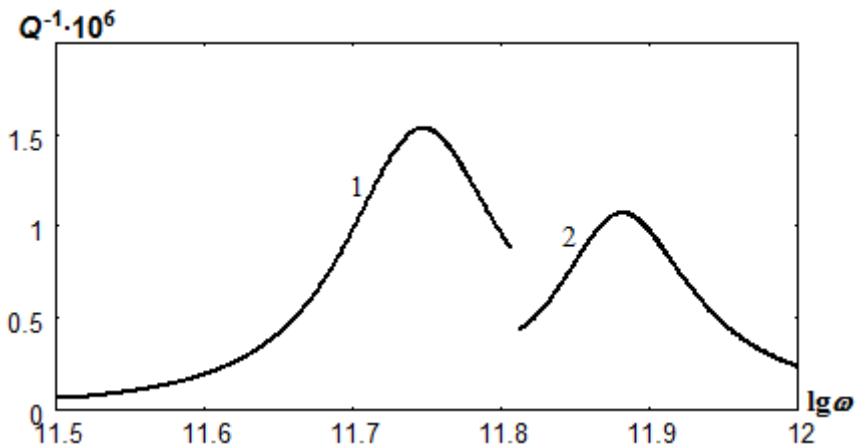


Рис. 1. Частотная зависимость внутреннего трения при радиационном затухании изгибных колебаний 60° смешанной дислокации при условии $\omega/c_l < |k_z| < \omega/c_t$;

$$1 - k_z = 10^{8.0} \text{ м}^{-1}, 2 - k_z = 10^{8.3} \text{ м}^{-1}.$$

Список литературы:

1. Дежин В.В. О вкладе радиационного торможения во внутреннее трение при изгибных колебаниях бесконечной краевой дислокации // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 161-162.
2. Батаронов И.Л., Дежин В.В., Рошупкин А.М. Влияние центров пиннинга и рельефа Пайерлса на обобщенную восприимчивость дислокаций в реальных кристаллах // Известия РАН. Серия физическая. – 1993. – Т. 53, № 11. – С. 97-105.
3. Батаронов И.Л., Дежин В.В. Обобщенная восприимчивость и колебания дислокации в рельефе Пайерлса // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 500-505.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. – Т. V. – Статистическая физика. – Ч. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 616 с.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА
АМГ5/МО, ПОЛУЧЕННОГО КОМБИНИРОВАННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПОДАЧИ ПРОВОЛОКИ АМГ5 И ПОРОШКА Мо**

*А.Р. Добровольский, аспирант, м.н.с., А.П. Зыкова, к.ф.-м.н., н.с., А.В. Чумаевский, к.т.н.,
н.с., А.В. Воронцов, аспирант, м.н.с, Т.А. Калашикова, к.т.н., м.н.с,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, пр.
Академический, 2/4,
тел.(3822)-286-863
E-mail: zykovaap@mail.ru*

Развитие и модернизация авиакосмических и автомобильных двигателей является актуальной задачей и приводит к поиску и разработке новых высокотемпературных конструкционных материалов. Несмотря на то, что сплавы на основе никеля широко используются в камерах сгорания газовых и паровых турбин и в качестве тепловых экранов для выхлопных газов самолетов [1], рабочая температура сплавов на основе никеля зачастую уступает алюминидам тугоплавких металлов. В настоящее время все большее внимание привлекают алюминиды, в состав которых входит Мо, из-за их высокой температуры плавления, высоких механических свойств и хорошей термической стабильности [2]. Несмотря на большой интерес к сплавам системы Al/Мо, природа их механических свойств мало изучена и в экспериментальных данных имеются расхождения. В основном сплавы Al/Мо получают лазерной порошковой наплавкой, горячим погружением стержней из Мо в расплав промышленного сплава АК12, литьем, горячим прессованием порошков [3-5] и т. д. В настоящее время активно развиваются методы аддитивного производства (АП), так как имеют большой потенциал для производства полиметаллических материалов. Методы АП производительны и позволяют производить детали сложной геометрической формы по сравнению со стандартными методами производства. В литературных источниках отсутствуют данные о формировании полиметаллических изделий системы Al/Мо аддитивными методами. Поэтому целью данной работы являлось изучение влияния порошка Мо на структурно-фазовое состояние гетерогенной зоны полиметалла АМГ5/Мо, полученного комбинированным производством электронно-лучевой подачи алюминиевой проволоки АМГ5 и порошка Мо.

Полиметаллические образцы АМГ5/Мо были изготовлены с использованием установки для аддитивного электронно-лучевого производства (ИФПМ СО РАН). Для получения полиметаллических образцов использовалась проволока АМГ5 диаметром 1,2 мм и порошок Мо (чистота 98,7%) со средним размером частиц ~200 мкм. Параметры электронно-лучевого аддитивного процесса: ускоряющее напряжение 30 кВ, ток пучка 40 мА, скорость подачи проволоки 1590 мм/мин, скорость перемещения стола 380 мм/мин. Полиметаллические образцы АМГ5/Мо формировали следующим образом. На подложке из сплава АМГ5 формировали заготовку путем наплавки слоев из алюминиевой проволоки АМГ5. После нанесения 8 слоев алюминиевого сплава с помощью порошкового податчика на заготовку подавался порошок Мо с навеской 1,2 г. Масса навески порошка Мо была выбрана максимальной для полного покрытия поверхности заготовки АМГ5 и формирования композиционного слоя. Далее наносился слой алюминиевой проволоки АМГ5, который сопровождался частичным плавлением порошка Мо и нижележащих слоев АМГ5. После нанесения слоя проволоки АМГ5 с помощью порошкового податчика формировали второй слой нанесения Мо с навеской 1,2 г. Для формирования полиметаллического образца Al/Мо на заготовку из алюминиевого сплава АМГ5 всего было нанесено 3 слоя с порошком Мо с последующим нанесением проволоки АМГ5.

По данным РЭМ было установлено, что гетерогенный слой АМГ5/Мо характеризуется неоднородной структурой, связанной с неравномерным распределением и растворением

порошка Мо в слоях алюминиевой матрицы АМг5. Последовательное применение методов подачи проволоки АМг5 и порошкового слоя приводят к тому, что частицы Мо частично плавятся. Присутствуют крупные частицы нерастворенного порошка Мо и мелкие частицы различной морфологии фазового состава Al_xMo_y . При нанесении первого порошкового слоя Мо с последующим нанесением слоя проволоки АМг5 наблюдается частичное оседание порошка Мо на ранее нанесенные слои АМг5, что приводит к формированию четкой границы АМг5-Мо. Такая граница имеет толщину 5 мкм и наблюдается на протяжении всего полиметаллического образца, где был нанесен первый слой порошка Мо. При нанесении последующих порошковых слоев Мо и алюминиевой проволоки АМг5 такой границы не наблюдается. По данным локального энергодисперсионного анализа граница состоит из 75,1-97,7 ат.% Мо, 2,3-20 ат.% Al, 11,1-14,4 ат.% Mg и 0,7-0,9 ат.% Fe. В некоторых областях вдоль границы наблюдаются трещины.

По данным РЭМ также было установлено, что гетерогенная зона полиметалла АМг5/Мо характеризуется областью со сложной композиционной структурой, состоящей из частиц непрореагировавшего Мо и интерметаллидов Al_xMo_y . В сложной композиционной структуре присутствуют частицы пересыщенного твердого раствора 1,5 ат.% Al в 98 ат.% Мо, то есть Мо(Al). Вокруг частиц Мо(Al) располагаются оболочки светло-серого цвета. Согласно данным локального энергодисперсионного анализа такая оболочка содержит 46-52 ат.% Al и 47-54 ат.% Мо, что соответствует равновесной фазе Al_8Mo_3 . Более темная область вокруг оболочек и частиц Al_8Mo_3 представляет собой фазу Al_5Mo с содержанием 61-66 ат.% Al и 33-38 ат.% Мо. Далее более темный серый слой на границе между фазами Al/Мо и алюминиевой матрицей характеризуется фазой близкой к равновесной фазе $Al_{12}Mo$, которая имеет различную морфологию: частицы неправильной формы, игольчатые, пластинчатые.

Таким образом, использование 1,2 г порошка Мо при комбинированном производстве полиметалла АМг5/Мо приводит к формированию неоднородного гетерогенного композиционного слоя АМг5/Мо. Порошок Мо агломерируется и только частично вступает в реакцию с алюминиевым сплавом, что в свою очередь приводит к формированию ряда эвтектических фаз с различной морфологией. Распределение эвтектики и отдельных частиц системы Al_xMo_y слишком неоднородно в гетерогенном слое АМг5/Мо, что может негативно сказаться на механических свойствах данного полиметалла.

Исследования были проведены в рамках Государственного задания ИФПМ СО РАН.

Список литературы:

1. Yener T. Low temperature aluminising of Fe-Cr-Ni super alloy by pack cementation // Vacuum. – 2019. – Т. 142. – С. 114-120.
2. Eumann M., Sauthoff G., Palm M. Re-evaluation of phase equilibria in the Al-Mo system // International Journal of Materials Research. – 2006. – Т. 97. – №. 11. С. 1502-1511.
3. Minasyan T., Ivanova R., Toyserkani E., Hussainova I. Laser powder-bed fusion of $Mo(Si,Al)_2$ – Based composite for elevated temperature applications // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Т. 884. – № 5. – С. 161034.
4. Sharifitabar M., Sadeq F.O., Afarani M.S. Synthesis and kinetic study of $Mo(Si,Al)_2$ coatings on the surface of molybdenum through hot dipping into a commercial Al-12 wt.%Si alloy melt // Surfaces and Interfaces. 2021. – Т. 24. – С. 101044.
5. Pan S, Guan Z, Yao G, Yuan J, Li X. Mo-enhanced chemical stability of TiC nanoparticles in molten Al // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Т. 856. – С. 158169.

ТАРИРОВКА ТЕРМОПАРЫ ИНСТРУМЕНТ-ДЕТАЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ

*И.А. Ефимович, к.т.н., доц.,
И.С. Золотухин, старший преподаватель
Тюменский индустриальный университет, 625000, г.Тюмень, ул.Володарского,38,
тел.(3452)-539-250
E-mail: zolotuhinis@tyuiu.ru*

Измерение температуры методом естественной термопары [1, 2] широко используется в различных областях науки и техники. Естественная термопара "инструмент-деталь" может использоваться, например, в качестве датчика обратной связи в металлорежущих станках с адаптивной системой управления. Однако, для точного измерения температуры необходима тарировка термопары [3, 4], осуществлять которую традиционными методами (в печи) затруднительно из-за сложности термостабилизации холодного спая со стороны инструмента, вызванной проблемой изготовления длинных стержней из инструментальных твердых сплавов. В свою очередь, динамические методы тарирования [5, 6], осуществляемые в процессе резания или трения, не смотря на близость условий контакта элементов термопары к реальным, труднореализуемы на практике.

Для решения проблемы тарирования естественной термопары "инструмент-деталь" разработан способ (рис.1), в котором для нагрева термопары используется излучение лазера высокой мощности, а термостабилизация холодного спая со стороны инструмента осуществляется термоэлектрическим элементом Пельтье. Излучение лазера (1) по оптоволокну (2) доставляется до коллиматора (3), после чего с помощью линзы (4) фокусируется на поверхности детали (5), противоположной контактируемой с инструментом (6) поверхности. Управление термоэлементом Пельтье (7) осуществляется контроллером (8) с обратной связью по температуре холодного спая, измеряемой установленным на инструменте термистором (9). Для охлаждения нагреваемой поверхности термоэлемента используется радиатор (10) с принудительным обдувом вентилятором (11). Эталонная термопара (12) расположена в непосредственной близости от горячего спая тарлируемой термопары. Сигналы термо-ЭДС эталонной и тарлируемой термопар усиливаются инструментальным усилителем (13) и одновременно регистрируются в ЭВМ (14) с помощью аналого-цифрового преобразователя (15). Управление мощностью лазера и, как следствие, температурой нагрева осуществляется через ЭВМ.

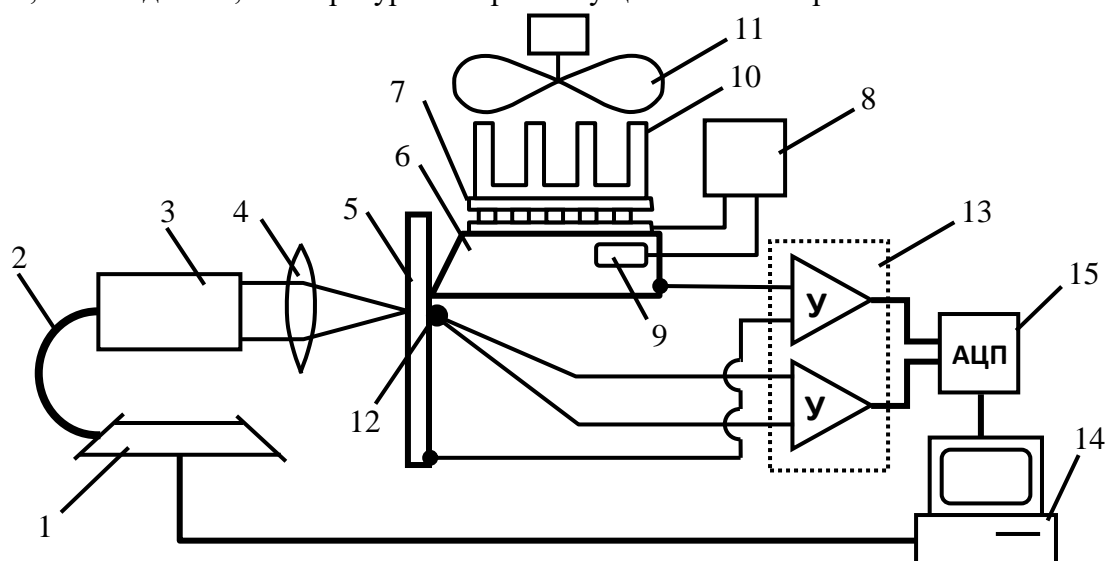


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

Работоспособность метода подтверждена экспериментом (рис.2), в котором в качестве элементов термопары использовались диск из жаропрочной стали ЭИ961 и стандартная режущая пластина из твердого сплава ВК8. В эксперименте изменялась мощность лазерного излучения и регистрировалось изменение термо-ЭДС термопар с помощью программы PowerGraph. Длительность нагрева была ограничена, что позволяло, в виду массивности диска, считать температуру холодного спае со стороны детали постоянной и соответствующей комнатной. В качестве эталонной термопары использовалась стандартная хромель-алюмель термопара (тип К). В каждом опыте выбиралась точка, соответствующая максимальной температуре нагрева. Обработка данных осуществлялась в Excel. Результаты тарировки представлены на рис.3.

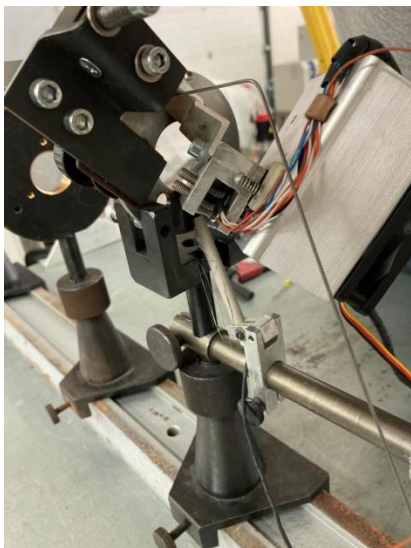


Рис. 2. Внешний вид блока термостабилизации.

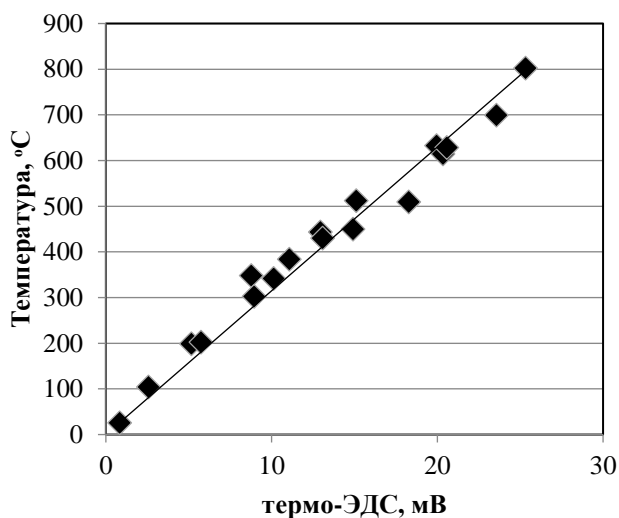


Рис. 3. Тарировочный график для термопары ЭИ961-ВК8.

Разработанный метод может быть использован для тарирования естественных термопар, элементы которых имеют малые размеры и, как следствие, тарировка которых сопряжена со сложностью термостабилизации холодных спаев.

Список литературы:

1. Резников А. Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Komanduri R.A., Hou Z.B. Review of the experimental techniques for the measurement of heat and temperatures generated in some manufacturing processes and tribology // Tribology International. – 2001. – Vol. 34. – P. 653–682. – DOI: 10.1016/S0301-679X(01)00068-8.
3. Longbottom J.M., Lanham J.D. Cutting temperature measurement while machining – a review // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – 2005 – Vol. 77, iss. 2. – P. 122–130. – DOI: 10.1108/00022660510585956.
4. On the measurement of temperature in material removal processes / M.A. Davies, T. Ueda, R. M'Saoubi, B. Mullany, A.L. Cooke // CIRP Annals-Manufacturing Technology. – 2007. – Vol. 56, iss. 2. – P. 581–604. DOI: 10.1016/j.cirp.2007.10.009.
5. Патент 2514369 Российская Федерация, МПК В23В25/06 (2006.01). Способ тарирования естественной термопары / И.А. Ефимович, И.С. Золотухин. – № 2012125475/02; заявл. 19.06.2012; опубл. 27.04.2014. Бюл. № 12.
6. Авторское свидетельство 1404185 СССР, МПК В23В25/06 (2000.01). Способ тарирования естественной термопары для измерения температуры в зоне резания / М.Р. Бей, М.И. Бугаец, В.П. Свизинский, В.А. Яцюк. – № 4160452; заявл. 12.12.1986; опубл. 23.06.1988.

ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ NiCrBSi-СПЛАВА, НИОБИЯ И БОРА

*Т.А. Зимоглядова, к.т.н.,
Д.Э. Сафарова, студент гр. Маг-121
Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
тел.(383) 346-08-43
E-mail: safarova10ab@mail.ru*

Создание защитных слоев на поверхности материалов является одним из актуальных способов повышения износостойкости деталей машин. Технология вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет обрабатывать крупногабаритные заготовки за счет вывода высококонцентрированного электронного луча в атмосферу, а получаемая толщина может достигать 1,5 мм [1].

Сплавы системы Ni-Cr-B-Si-Fe обладают высоким уровнем технологических свойств, а также высокими показателями износостойкости и коррозионной стойкости. Введение добавок, для формирования упрочняющих фаз в слоях на основе самофлюсующихся сплавов, способствует повышению износостойкости [2]. К таким добавкам относятся смеси, образующие бориды на основе тугоплавких металлов, которые более твердые и стойкие к окислению, чем карбиды тех же металлов [3]. Авторами работы предложена порошковая смесь типа «Ni-Cr-B-Si-Fe-сплав+Nb+B», при наплавке которой в слое формируются сложные частицы на основе NbC и Nb₂B [4]. Однако, при кристаллизации слоя могут образовываться сплавленные частицы, которые будут оказывать негативное влияние на эксплуатационные характеристики материала.

Целью данной работы являлось исследование влияния на структуру и свойства повторного оплавления защитных слоев типа «Ni-Cr-B-Si-Fe+Nb+B», сформированных по технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Для нанесения защитных слоев применяли промышленный самофлюсующийся никелевый сплав марки ПН77Х15С3Р2 в который вводилось 35 вес. % смеси ниобия в сочетании с бором. Долю смеси подбирали в соответствии с условием формирования соединения Nb₂B в процессе наплавки. Основным материалом для нанесения защитного слоя выбрали низкоуглеродистую сталь 20. Формирование защитных слоев осуществлялось в Институте ядерной физики СО РАН на ускорителе электронов типа ЭЛВ-6. Оптимальным режимом наплавки является сила тока – 25 мА и скорость перемещения заготовки – 15 мм/с. Повторное оплавление проводилось на том же оборудовании с варьированием силы тока 25-35 мА с шагом 5 мА и скоростью – 15 мм/с.

Обработка в печи предложена как альтернативный способ оплавления. Термическая обработка осуществлялась в электропечи сопротивления SNOL 7.2/1300. Режимы обработки в печи представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы термической обработки.

	Тип термической обработки (Т, °С)	Время выдержки, мин	Среда охлаждения
1	Нормализация (1000)	10	воздух
2	Закалка (1000)	10	масло
	Отпуск (200)	40	воздух

Структура защитных слоев исследовалась на световом микроскопе (Carl Zeiss Axio Observer Z1m) с диапазоном увеличений 20-1000 крат, а также на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP. Рабочий диапазон увеличений – 50-30000 крат. Для выявления структурных особенностей поверхности образцов обрабатывались смесью

сульфата меди, соляной и азотной кислоты и этанола. Для установления фазового состава полученные слои были исследованы на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Микротвердость оценивалась на микротвердомере Wolpert Group 402 MVD. Оценка стойкости слоев к истиранию производилась в условиях воздействия закрепленного абразива в соответствии с ГОСТ 17367-71.

Результаты металлографических исследований представлены на рисунке 1. В образце, полученном переплавом электронным лучом с силой тока 35 мА, зафиксировано самое глубокое проплавление, толщина слоя составила 2,5 мм.

На рисунке 1б представлена структура слоя, полученного при переплаве с силой тока пучка 25 мА. Структура слоя имеет литое строение. В пространстве между дендритами расположена эвтектика и упрочняющие соединения. При оплавлении в печи частично устранена литая структура (рис. 1в). При повторном оплавлении слоев γ -твердый раствор на основе железа, никеля является основной фазой. Функцию упрочняющих фаз выполняют бориды и карбиды типа Fe_2B , NbB_2 и NbC , $Cr_{23}C_6$ соответственно.

Анализ дюрOMETрических исследований показал, что уровень микротвердости всех образцов находится в диапазоне 400-550 HV. Максимальное значение зафиксировано в образце после переплава с силой тока 30 мА, и составило 560 HV. Результаты испытаний на трение, показали, что все образцы характеризуются, в среднем, одинаковым уровнем износостойкости. Наименьшим уровнем износостойкости обладает образец, переплавленный при токе пучка 35 мА.

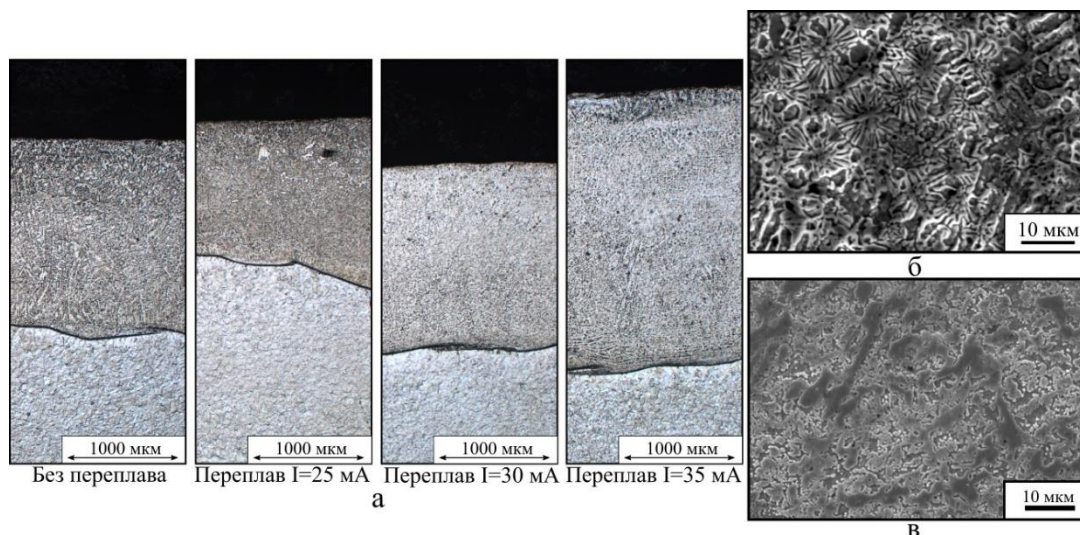


Рис. 1. Результаты металлографических исследований: а – толщина слоев, б – структура слоя после переплава с силой тока 25 мА, в – структура слоя после нормализации.

Список литературы:

1. Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В., Крылова Т.А., Салимов Р.А. Формирование покрытий двойного назначения методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // Физическая мезомеханика. – 2006. – №9. Спецвып. – С. 177–180.
2. Соболева Н.Н. Контактная выносливость NiCrBSi покрытий, полученных методом газопорошковой лазерной наплавки // Обработка металлов. – 2014. – № 4. – С. 43–51.
3. Аппен А. А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. – Л.: Химия 1967. – 144 с.
4. Зимоглядова Т.А. Повышение износостойкости стали с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором: дис. ... канд. тех. наук: 05.16.09 / Зимоглядова Татьяна Алексеевна. – М., 2019. – 189.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРЫ ТРЕНИЯ СТАЛЬ/ABS ПЛАСТИК С ПОСЛЕДУЮЩИМ ПОВЕРХНОСТНЫМ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЕМ

А.А. Иванов, студент гр. 4АМ1Ф

О.П. Ивкина, студент гр. 4АМ1Ф

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: tpuivanov@gmail.com

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям трибологических свойства пары трения сталь/ABS пластик. В ходе работы были изучены теоретические основы трения и составные части типологической системы. Кроме того, был проведен анализ предыдущих исследований по этой теме. Это позволило сделать прогнозы поведения материала при малых нагрузках[2]. Испытания проводились на роторном трибометре TRM-5000 с нагрузкой 75 и 100 Н. Скорость вращения стального образца составляла 1, 5, 10, 25,50 об/мин⁻¹. Во избежание случайных ошибок при испытании каждый эксперимент повторялся пять раз. Так же после каждой серии испытаний образец шлифовался в специальном приспособлении для создания одинаковых начальных свойств и характеристик материала.

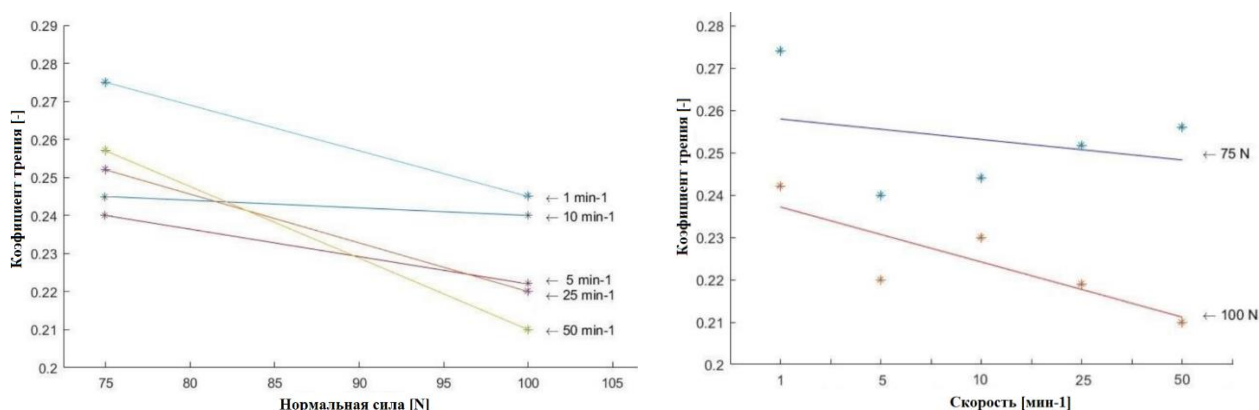


Рис. 1. Коэффициент трения для ABS-пластика, основанный на нормальной силе 75 и 100Н при различных угловых скоростях.

Как видно из левой части рис.1 с увеличением нагрузки, коэффициент трения линейно уменьшается для всех скоростей. На скорости 1 мин⁻¹ коэффициент трения падает с 0,275 до 0,245. На скорости 5 мин⁻¹ коэффициент трения падает с 0,24 до 0,222; на скорости 10 мин⁻¹ коэффициент трения падает с 0,245 до 0,241; на скорости 25 мин⁻¹ коэффициент трения падает с 0,252 до 0,22; на скорости 50 мин⁻¹ коэффициент трения падает с 0,257 до 0,21. На правой части рис.1 можно видеть зависимость коэффициента трения от скорости при нагрузке 75Н и 100Н для образца ABS. При нагрузке 75 Н коэффициент трения линейно уменьшается с 0,259 до 0,25. При нагрузке 100 Н коэффициент трения падает с 0,239 до 0,21.

До и после экспериментов проводились микроскопические исследования с использованием электронного микроскопа серии VK-X. На основании результатов сканирования поверхности были получены изменения шероховатости поверхности.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

Таблица 1. Шероховатость ABS-пластика до и после испытания на разных скоростях с нагрузкой 75 Н.

	Скорость					
	До испытания	1 min ⁻¹	5 min ⁻¹	10 min ⁻¹	25 min ⁻¹	50 min ⁻¹
Sa [μm]	1,974	1,687	1,41	1,698	1,387	1,091
Sz [μm]	30,995	61,87	16,34	19,2	15,25	14,323
Str	0,797	0,705	0,453	0,293	0,414	0,387
Spc [1/mm]	3139	2238	1637	2466	2032	1334
Sdr	2,6	1,28	0,7863	1,46	1,05	0,52

Таблица 2. Шероховатость ABS-пластика до и после испытания на разных скоростях с нагрузкой 100 Н.

	Скорость					
	До испытания	1 min ⁻¹	5 min ⁻¹	10 min ⁻¹	25 min ⁻¹	50 min ⁻¹
Sa [μm]	1,974	1,648	1,559	1,219	1,124	1,107
Sz [μm]	30,995	17,85	19,86	15,965	11,998	10,86
Str	0,797	0,343	0,65	0,633	0,571	0,47
Spc [1/mm]	3139	2433	2288	1585	1366	1336,9
Sdr	2,6	1,394	1,271	0,6545	0,5235	0,5685

с
коростя
х с
нагрузк
ой 100
Н.

**Список
литерат
уры**

1. Czichos H., Habig K.-H. (1992) Tribologie Handbuch: Reibung und Verschleiss. Vieweg, Berlin
2. Popov V.L. (2010) Kontaktmechanik und Reibung: Vor der Nanotribologie bis zur Erdbebendynamik. Zweite Auflage. Springer, Berlin
3. MATLAB programming for numerical analysis: [practical hands-on MATLAB solutions] César Pérez López New York, NY: Apress, 2014

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

А.А. Иванов, студент гр. 4АМ1Ф

О.П. Ивкина, студент гр. 4АМ1Ф

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел.+7(968)5184414

E-mail: tpuivanov@gmail.com

Простейшие воздействия на детали машин – это сжатие, растяжение, изгиб, удар, кручение. Механические свойства определяются, в первую очередь силами, связанными между атомами или молекулами. Кроме механических воздействий детали испытывают тепловые, магнитные, электрические и другие воздействия.

Уравнение поверхности напряжений имеет вид:

$$\lambda_I x^2 + \lambda_{II} y^2 + \lambda_{III} z^2 = 1 \quad (1)$$

Значения λ_I , λ_{II} , λ_{III} могут быть как положительными, так и отрицательными, поэтому поверхность напряжений имеет вполне определённую форму. Можно отметить, что поверхность напряжений легко рассчитать для любой формы индентора, поэтому такой подход можно распространить на все методы измерения по Бриннелю, Роквеллу и Виккерсу.

Дальнейшее развитие экспериментальных методов определения механических свойств металлических образцов при вдавливании индентора в испытуемый образец под измерительной нагрузкой, в регистрации внедрения индентора.

В результате, для каждого метода измерения по Бриннелю, Роквеллу и Виккерсу установлена связь между вдавливанием и растяжением.

Диаграмму растяжения при деформации образца на жёсткой испытательной машине строят в координатах $\sigma - \varepsilon$ и по экспериментальной диаграмме вдавливания $P(h)_э$ при непрерывном изменении нагрузки на инденторе и измерении глубины его вдавливания, определяют механические свойства: модуль упругости - E , твёрдость, упрочнение в ходе деформации - $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$, предел текучести - σ_T , предел прочности - σ_B , по экспериментальной диаграмме вдавливания $P(h)_э$, совмещают экспериментальную с теоретической кривой вдавливания, по совпадению кривых и параметров судят о механических свойствах материала и годности деталей.

Сущность нового подхода к определению механических свойств материалов основывается на том, что под действием механических напряжений все реальные материалы вначале деформируются упруго, при этом величина напряжения пропорциональна модулю упругости и относительной деформации образца, после достижения уровня напряжений, соответствующих пределу текучести, начинается пластическая деформация.

Эффективность и расширение функциональных возможностей способа повышается за счёт построения диаграмм растяжения, охватывающей упругую и пластическую область, позволяющей рассчитать и построить теоретическую диаграмму вдавливания методами конечных элементов и создать библиотеку теоретических диаграмм вдавливания. Экспериментальная диаграмма вдавливания позволяет определить следующие механические свойства: модуль упругости - E , твёрдость, упрочнение в ходе деформации - $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$, предел

текучести - σ_T в точке перегиба диаграммы и предел прочности - σ_B по глубине вдавливания в точке максимальной нагрузки, а при совмещении и совпадении теоретической кривой вдавливания с экспериментальной и характерных точек,

характеризующих механические свойства, судить о механических свойствах материалов и о годности деталей, что позволяет автоматизировать процесс отбраковки деталей.

При модернизации отечественного измерителя твёрдости происходит расширение его функциональной возможности, что позволяет измерять не только твёрдость, но и получать все механические свойства материалов.

Однако стремление к модернизации и автоматизации измерительного процесса вызывает необходимость уменьшения технологического цикла контроля и аппаратного обеспечения. Все требования могут быть достигнуты при одновременном контроле всех механических свойств, таких как по экспериментальной диаграмме вдавливания $P(h)_э$ при непрерывно воздействующей нагрузке на индентор и измерении глубины вдавливания, определении механические свойства: модуля упругости - E , твёрдости, упрочнения в ходе деформации - $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$, предела текучести - σ_t , предела прочности - σ_b , по экспериментальной диаграмме вдавливания $P(h)_э$, совмещении экспериментальной с теоретической кривой вдавливания, по совпадению кривых и параметров суждения о механических свойствах материала и годности деталей. В связи с этим идея модернизации существующего твердомера и расширение его функциональных возможностей в настоящее время является актуальной [1]. Таким образом, появляется возможность определять все механические свойства заготовок, деталей и материалов на одном стандартизованном измерителе твёрдости, что существенно уменьшает технологический цикл контроля.

Список литературы:

1. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твёрдости [Текст] / М.П. Марковец - М.: Машиностроение, 1979. - 168 с.
2. Зенкевич О.Н. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.Н. Зенкевич - М.: Мир, 1975.
3. Басов К.А. ANSYS для конструкторов [Текст] / К.А. Басов – М.: Компьютер Пресс, 2016.

**СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛУМИНА
ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА, ОБЛУЧЕННОГО ИНТЕНСИВНЫМ
ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

¹Ю.Ф. Иванов, д.ф-м.н., доц.,

²А.А. Клопотов, д.ф-м.н., проф.,

¹Е.А. Петрикова, м.н.с.,

¹А.Д. Тересов, н.с.,

¹М.Е. Рыгина, м.н.с.,

²А.М. Устинов, ктн, ст. преподаватель

²Ю.А. Власов, д.т.н., проф.

¹Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, г. Томск, пр-т Академический, 2/3,
тел. 8(3822)-491-713.

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634002, г. Томск, пл.
Соляная, 2, тел. 8(3822)- 65-34-68

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru, yury2006@yandex.ru

Современное производство поршней и подшипников скольжения, требует новых недорогих и износостойких материалов. Алюминиевые сплавы дешевые, легкие, стойкие к коррозии и имеют хорошую износостойкость [1]. Силумины (сплавы Al-Si) являются дешевыми литейными сплавами с высокой коррозионной стойкостью, малым удельным весом. К недостаткам силуминов, существенно ограничивающих их сферу применения в промышленности, относят наличие в структуре первичных зерен кремния и включений примесных фаз, размер которых достигает десятков микрометров, а также наличие микропор литейного происхождения [1]. Одним из перспективных методов модифицирования структуры металлов и сплавов, в том числе и силуминов, является облучение импульсным электронным пучком [2].

Целью настоящей работы является установление и анализ закономерности эволюции структуры и механических свойств силумина доэвтектического состава, облученного интенсивным импульсным электронным пучком. В качестве материала исследования использован сплав АК10М2Н (Al-(9.5–10.5) Si-(2–2.5) Cu-(0.9–1.2) Mg-(0.8–1.2) Ni-0.6 Fe-0.05Mn-0.05Zn-0.8Mg-0.05 Ti, вес.%). Облучение образцов силумина интенсивным импульсным электронным пучком осуществляли на установке «СОЛО» [2]. Параметры пучка электронов: энергия ускоренных электронов 17 кэВ, плотность энергии пучка электронов (10, 30, 50) Дж/см², длительность импульсов (50 и 200) мкс, количество импульсов 3, частота следования импульсов 0,3 с⁻¹; давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки 2×10⁻² Па. Механические испытания силумина осуществляли путем растяжения плоских пропорциональных образцов на испытательной машине «INSTRON 3386» с постоянной скоростью 1,25 мм/мин. Распределение деформаций в приповерхностных слоях образца при растяжении фиксировали с использованием оптической измерительной системы VIC-3D [3]. Эта система позволяет получать картины распределений деформационных полей на основе корреляции цифровых стереоскопических изображений, в результате получают данные по перемещению микрообъемов в трехмерном пространстве. Методика подготовки образцов и визуализация картин распределения деформационных полей в процессе деформации описаны в [3].

Выполненные исследования структуры и фазового состава модифицированной поверхности образцов силумина позволили высказать предположения о физических механизмах, позволяющих повысить прочностные и пластические свойства силумина марки АК10М2Н.

На рис. 1 на деформационных кривых видно, что модификация поверхности образцов при облучении интенсивным импульсным электронным пучком с увеличением длительности

импульсов приводит к повышению прочностных свойств силумина. Анализ картин распределений продольных ε_{yy} относительных деформаций на поверхности не облученных и облученных образцов позволил установить, что чем выше прочностные свойства образцов, тем больше деформация в очагах деформации перед разрушением (рис. 2).

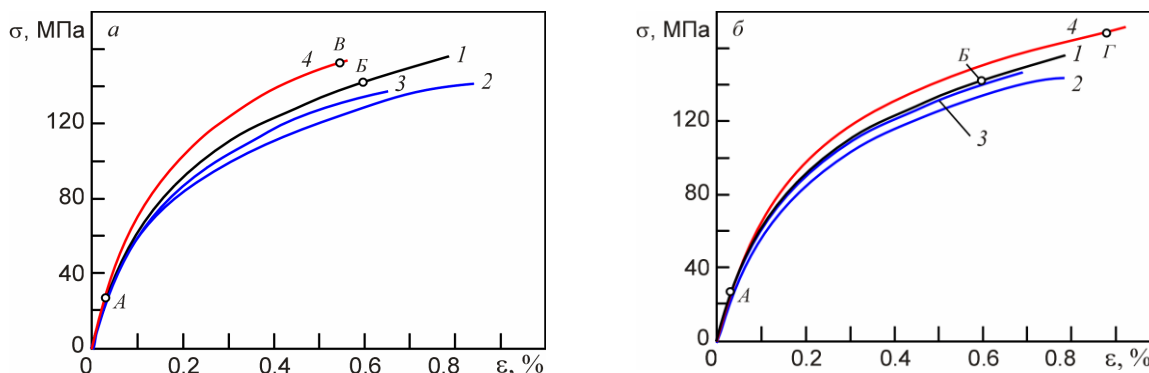


Рис. 1. Деформационные кривые не облученного (кривая 1) и облученных (кривые 2,3,4) образцов силумина АК10М2Н; режимы облучения: (а) 2 – 10; 3 – 30; 4 – 50 Дж/см² с длительность импульсов $t=50$ мкс., (б) 2 – 10; 3 – 30; 4 – 50 Дж/см² с $t = 200$ мкс. Точками А, В, В, Г выделены состояния, для которых приведены картины распределений деформационных полей на рис. 2.

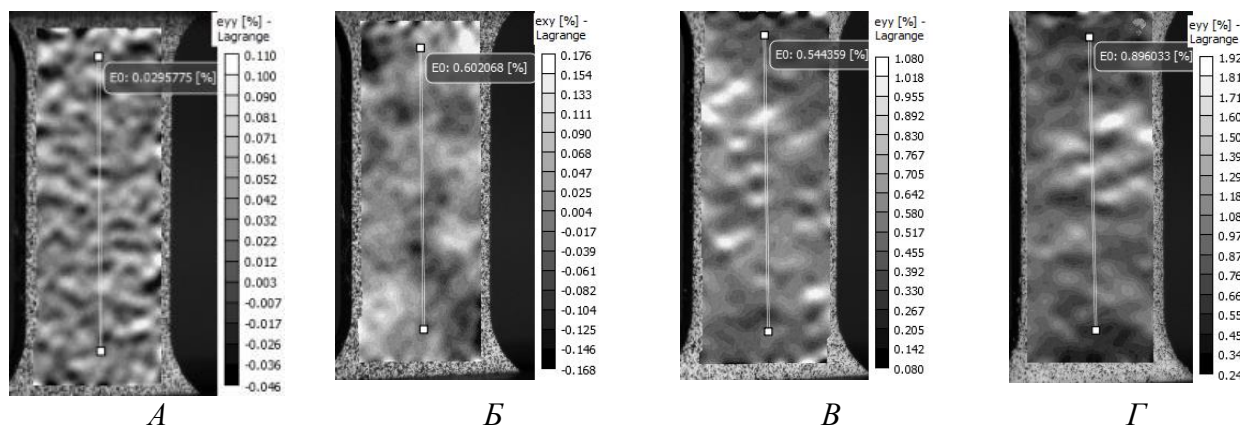


Рис. 2. Картины распределений продольных ε_{yy} относительных деформаций на поверхности не облученного образца (А, В) и облученных образцов с энергией 50 Дж/см² и с импульсами разной длительности (В, $t=50$ мкс.; Г, $t = 200$ мкс.) при средних деформациях по рабочему полю: А) $\varepsilon_{yy}=0.029\%$; В) $\varepsilon_{yy}=0.6$; В) $\varepsilon_{yy}=0.54\%$; Г) $\varepsilon_{yy}=0.89\%$. Этим картинам соответствуют точки А, В, В, Г на деформационных кривых на рис.1 а, б

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-48-700010.

Список литературы:

1. Белов Н.А., Савченко С.В., Хван А.В. Фазовый состав и структура силуминов: Справочное издание. – М.: Изд-во МИСиС, 2001. – 283 с.
2. Электронно-ионно-плазменная модификация поверхности цветных металлов и сплавов / под общ. ред. Н.Н. Коваля и Ю.Ф. Иванова. – Томск: НТЛ, 2016. – 312 с.
3. Sutton M. A., Ortu Jean-Jose, Schreier H. W. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Basic Concepts, Theory and Applications. Springer Science, Business Media. 2009. P.332.

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО МЕТОДА
АЗОТИРОВАНИЯ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ**

¹Ю.Ф. Иванов, д.ф-м.н., доц.,

¹Е.А. Петрикова, м.н.с.,

¹А.Д. Тересов, н.с.,

¹С.В. Лыков, с.н.с.,

¹М.Е. Рыгина, м.н.с.,

²А.А. Клопотов, д.ф-м.н., проф.,

²Ю. Власов, д.т.н., проф.,

¹Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, г. Томск, пр-т Академический, 2/3,
тел. 8(3822)-491-713.

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634002, г. Томск, пл.
Соляная, 2, тел. 8(3822)- 65-34-68

E-mail: yufi55@mail.ru, yury2006@yandex.ru

В последние годы опережающими темпами растет производство и потребление специальных, а также коррозионностойких и нержавеющей сталей. Основными потребителями нержавеющей стали являются предприятия нефтегазового комплекса (трубопроводы, запорная арматура, перекачивающие станции, исследовательское каротажное оборудование), химической и пищевой промышленности, атомная энергетика, тяжелое машиностроение и электроэнергетика, пищевая промышленность, строительная индустрия, архитектура и т.д. Сравнительно низкая твердость и износостойкость являются уязвимыми характеристиками нержавеющей аустенитных сталей, снижая срок службы изделий из данного материала. С целью повышения данных характеристик в России и за рубежом не прекращаются активные исследования в области модификации поверхности стали, в том числе методами азотирования.

Целью настоящей работы является обнаружение закономерностей формирования структуры, механических и трибологических свойств высокохромистой нержавеющей стали 20X23N18 (аналог США – AISI 310), подвергнутой комплексной обработке, сочетающей облучение интенсивным импульсным электронным пучком и последующее азотирование в плазме газового разряда низкого давления с использованием плазмогенератора с накаливаемым катодом «ПИНК». Облучение стали осуществляли на электронно-пучковой установке «СОЛО», оснащенной электронным источником на основе импульсного дугового разряда низкого давления с сеточной стабилизацией границы катодной плазмы и открытой границей анодной плазмы [1, 2]. Облучение стали проводили при следующих параметрах: энергия ускоренных электронов $eV = 18 \text{ кэВ}$; плотность энергии пучка электронов $E_s \text{ (Дж/см}^2\text{)} = 10, 20 \text{ и } 30$; длительность импульса воздействия $\tau \text{ (мкс)} = 50 \text{ и } 200$; количество импульсов воздействия $n = 3$; частота следования импульсов $f = 0,3 \text{ с}^{-1}$; давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки $\sim 0,02 \text{ Па}$. Азотирование стали осуществляли на модернизированной установке типа ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмогенератором «ПИНК». Температура азотирования 723 К, 793 К и 873 К, время азотирования 1, 3, 5 часов. Исследования структуры и фазового состава материала осуществляли методами сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа. Свойства модифицированного слоя характеризовали микротвердостью и износостойкостью.

Установлено, что сталь 20X23N18 в исходном состоянии является поликристаллическим материалом. В объеме и по границам зерен располагаются глобулярные частицы второй фазы (карбиды хрома и железа) субмикронных размеров. Показано, что электронно-пучковая обработка стали приводит к растворению в поверхностном слое, толщина которого зависит от режима облучения, глобулярных частиц карбидной фазы и формированию структуры

высокоскоростной ячеистой кристаллизации (рис. 1, а). По границам ячеек располагаются наноразмерные (≈ 25 нм) частицы карбидов хрома и железа, которые стабилизируют дефектную субструктуру материала.

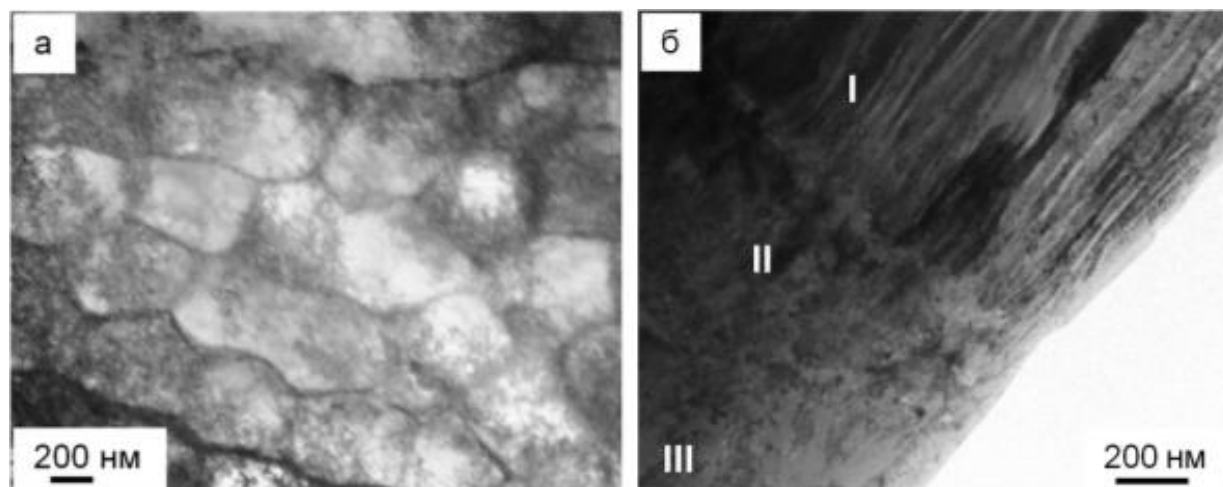


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхностного слоя стали 20X23H18 после облучения импульсным электронным пучком (30 Дж/см^2 , 200 мкс, 3 имп.) (а) и дополнительного азотирования при температуре 793 К, 3 час. (б).

Последующее азотирование стали сопровождается формированием многослойной структуры. Выявляются поверхностный слой, имеющий столбчатую (пластинчатую) структуру (рис. 1, б, слой I), сформированную чередующимися пластинами нитридов железа и хрома; переходный слой, имеющий наноразмерную структуру зеренного типа (рис. 1, б, слой II), и слой термо-диффузионного влияния, имеющий структуру зеренного типа с наноразмерными частицами второй фазы (рис. 1, б, слой III). Толщина поверхностного слоя достигает (3,5-4) мкм; переходного – (0,35-0,45) мкм; слоя термо-диффузионного влияния – (30-35) мкм. Обнаружено, что относительная толщина слоев зависит от параметров комплексной обработки. Установлено, что наиболее высокими трибологическими свойствами обладают образцы стали, комплексная обработка которых осуществлялась при следующих параметрах: облучение импульсным электронным пучком 30 Дж/см^2 , 200 мкс, 3 имп.; последующее азотирование при температуре 793 К в течение 3 часов. В этом случае износостойкость стали превышает износостойкость исходного материала более чем в 100 раз. Твердость поверхностного слоя стали, модифицированной при данных параметрах, превышает твердость исходного материала в 11,2 раза. Выполненные исследования структуры и фазового состава модифицированной стали позволили высказать предположения о физических механизмах, позволяющихкратно повысить трибологические и прочностные свойства поверхностного слоя высокохромистой стали 20X23H18.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-48-700010.

Список литературы:

1. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия ВУЗов. Физика. – 2008. – Т. 51. - №5. – С. 60-70.
2. Эволюция структуры поверхностного слоя стали, подвергнутой электронно-ионно-плазменным методам обработки / под общ. ред. Н.Н. Ковалья и Ю.Ф. Иванова. – Томск; Изд-во НТЛ, 2016. – 304 с.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЬФА-ЖЕЛЕЗА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СОУДАРЕНИИ

И.В. Иванов, к.т.н., м.н.с.,

А.Б. Юргин, магистрант

Новосибирский государственный технический университет,

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

тел. (383)- 346-06-12

E-mail: i.ivanov@corp.nstu.ru

В настоящее время различные схемы пластической деформации металлов и сплавов активно используются во многих технологических процессах, связанных с формоизменением заготовки: прокатка, ковка, гибка и т.д. В подобных процессах протекает квазистатическая деформация материала [1]. Но особый интерес вызывает высокоскоростные схемы пластической деформации, при которых напряжения перемещаются по заготовке со скоростями, зависящими от скорости деформации, а одна часть металла может претерпевать деформирование, тогда как другая еще нет. Поэтому, процессы развития деформированной структуры значительно отличаются от процессов, происходящих в условиях квазистатической деформации [2].

Изучение данной схемы деформации металлов несет актуальность как для решения фундаментальных вопросов, так и для прикладных отраслей. Например, высокоскоростная схема деформирования протекает в процессах взрывной штамповки, сварки взрывом, а также, может учитываться при проектировании конструкций, сталкивающихся с экстремальными динамическими нагрузками.

В качестве материала для исследования использовалось технически-чистое железо. Отожженный стержень из данного материала выстреливался в стену со скоростью около 250 м/с (тест Тейлора), после чего был подготовлен микрошлиф образца (рис. 1) и произведено изучение структуры методом дифракции синхротронного излучения на Немецком Электронном Синхротроне (DESY) на просвет.

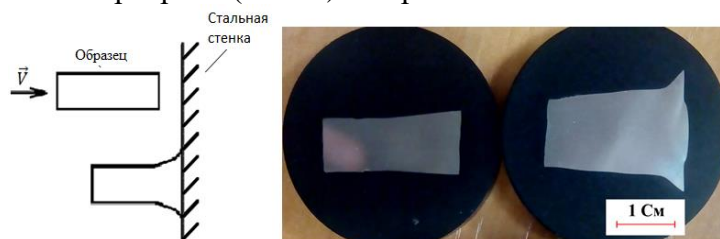


Рис. 1. Схема испытания и разрез полученного образца в микрошлифе

На рисунке 2 представлены карты распределения некоторых структурных параметров, полученных в ходе обработки картин дифракции при помощи разработанного в рамках исследования программного кода. Для обработки данных был применен метод Вильямсона-Холла с учетом модуля Юнга [3,4].

На картинах распределения обеих параметров видно, что наибольшие значения расположены вблизи зоны удара, а при приближении к хвостовой части эти значения снижаются. Также, за зоной удара наблюдается область скопления пониженных значений параметров (на промежутке 0...5 мм).

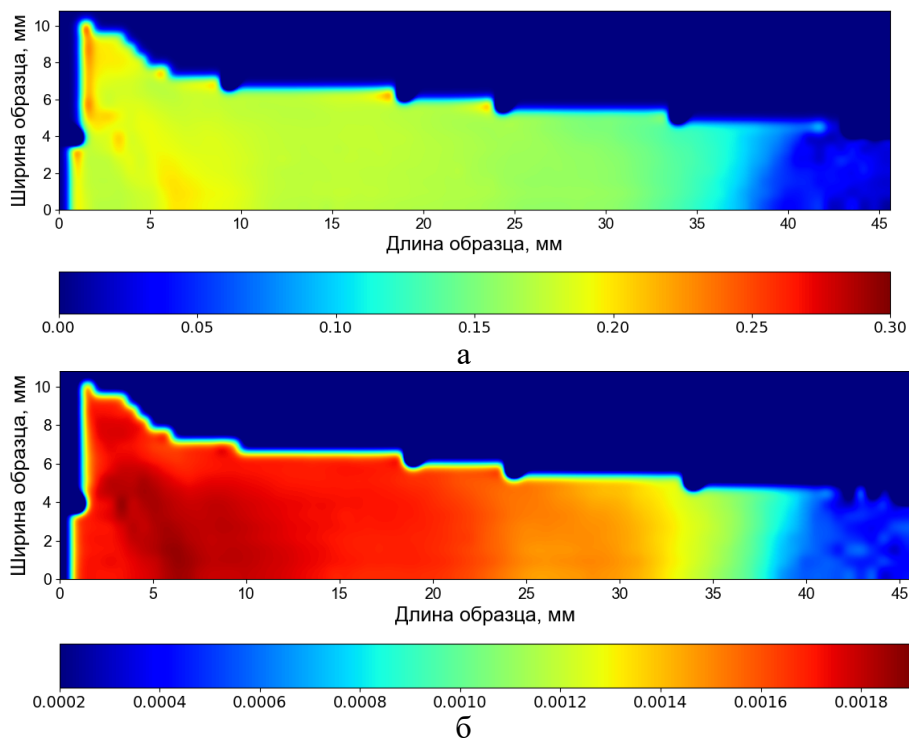


Рис.2. Карты распределения структурных параметров, где

а – напряжения кристаллической решетки, ГПа; б – искажения кристаллической решетки.

Картирование микротвердости (рис. 3) показало аналогичную тенденцию распространения значений, обусловленное прямой зависимостью между дефектностью структуры и ее упрочнением.

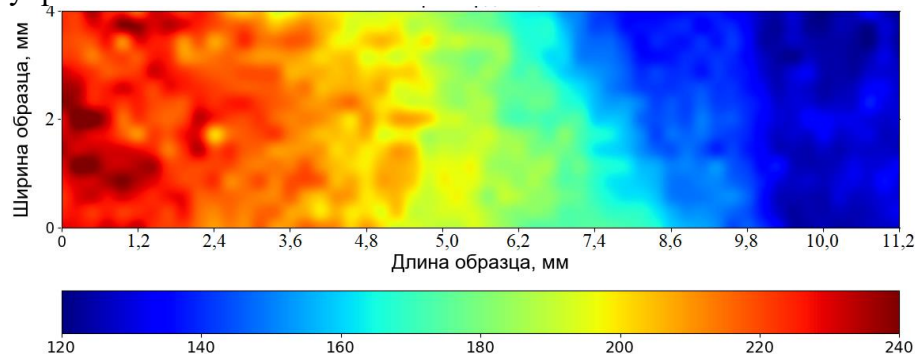


Рис.3. Карта распределения значений микротвердости, $HV_{0,1}$

Таким образом, в ходе высокоскоростной деформации стержня из альфа-железа, была сформирована структура с неоднородными физическими свойствами, имеющая зоны пониженных значений напряжений и искажений вблизи зоны удара.

Список литературы:

1. Гуляев А.П. *Металловедение [Текст]* / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Бакхауз Г. Анизотропия упрочнения. Теория в сопоставлении с экспериментом // *Известия АН СССР. Механика твердого тела.* 1976. № 6. С.120 - 129.
3. Nazanin Forouzanmehr, Mahmoud Nili-Ahmadabadi, and Matthias Bonisch, “The Analysis of Severely Deformed Pure Fe Structure Aided by X-ray Diffraction Profile,” *The Physics of Metals and Metallography*, vol. 117, no. 6, pp. 624–633, 2016.
4. W. Vandermeulen, M. Scibetta, A. Leenaers, J. Schuurmans, and R. Girard, “Measurement of the Young modulus anisotropy of a reactor pressure vessel cladding,” *J. Nuclear Mater.* 372, 249–255 (2008).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОНТАКТНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРИ ТРЕНИИ

*О.П. Ивкина, А.А. Иванов студенты гр. 4АМ1Ф,
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.+7(952)1765827
E-mail: olivkina93@yandex.ru*

Материаловедение, начиная с биотехнологий и заканчивая промышленным машиностроением, развивается быстрым темпом. Появляются новые материалы и новые области их применения. В связи с этим вопросы изучения теплофизических процессов при трении, которые влияют на состав поверхностного контактного слоя и его физические свойства, являются достаточно актуальными на сегодняшний день.

Результаты простого математического моделирования процесса разогрева инертных материалов при внешнем трении представлены А.П. Амосовым в работе [1]. Автор строит наиболее простые теплофизические модели трения, в каждой из которых выделяется всего один фактор и рассматривается его влияние на фрикционный разогрев (рис. 1): при сухом кратковременном трении для сплошного и дискретного фрикционного контакта (рис.1,1-2), при наличии износа (рис.1,3); при сухом и длительном трении для поступательного (рис.1,4) и вращательного движений (рис.1,5); при образовании и развитии пластической и жидкой прослоек за счет фрикционного тепловыделения (рис.1,6); при наличии прослойки сдвига на фрикционном контакте (рис.1,7); при возникновении автоколебаний при сухом трении (рис.1,8) и трении со смазкой (рис.1,9); при внешнем контактном трении пластичных материалов об ограничивающие твердые тела при свободном раздавливании ударом, при ударном выдавливании в фильеру, при быстром внедрении клиновидного пуансона.

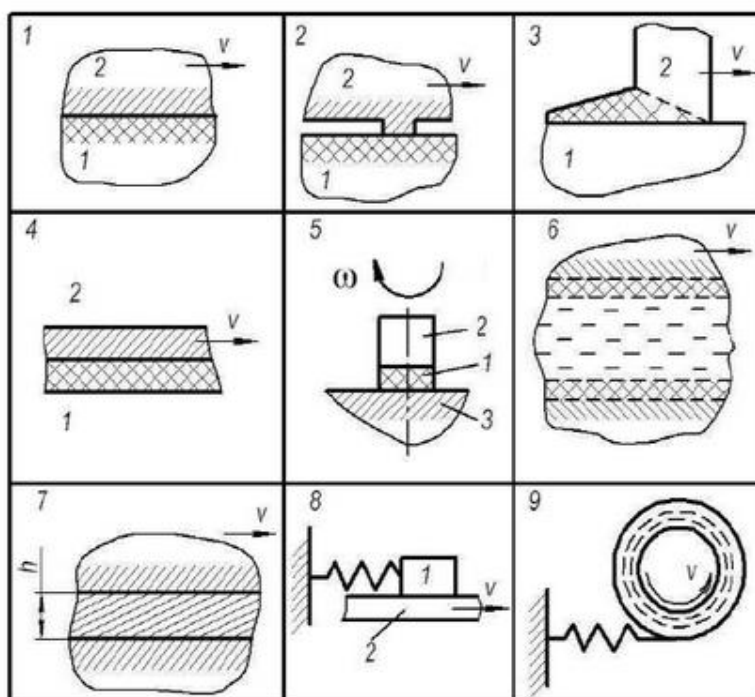


Рис. 1. Теплофизические модели трения

А.П. Амосов также внес наибольший вклад в становление вопроса трибологического изучения инертных и взрывоопасных веществ. Так в своей монографии [2] он представляет цикл теоретических исследований по математическому моделированию процесса разогрева различных материалов при внешнем трении.

Однако вопрос теплофизических процессов при трении затрагивали в своих работах и другие авторы, не занимающиеся взрывоопасными или инертными веществами.

Например, Тюрин А.Е. в своей работе [3] рассматривает решение тепловой задачи при износе, а также вопросы, связанные с дискретностью контакта в трибосопряжении, изменение свойств материала, изменением условий работы во времени. Основным индикатором происходящих процессов в его исследованиях является температура. В данной работе подробно рассмотрена измерительная система для контроля температуры при износе. Данная задача актуальна в различных фрикционных системах и механизмах.

Физико-химические процессы, развивающиеся в условиях фрикционного взаимодействия полимерных композиционных материалов (ПКМ) с металлическим контртелом; с учетом структурнофазовых превращений в ПКМ и их влияния на термодинамическое состояние трибосистемы анализируются в работе [4].

Была также разработана имитационная модель высокоскоростного трения и изнашивания [5], основанная на расчете нагревания зоны контакта скользящего элемента и изменении характеристик ее материала разупрочнении. На этой модели был проведен анализ влияния различных факторов на изменение характеристик трения.

Комплексный анализ существующих теорий, описывающих тепловые эффекты, возникающие при трении был проведен в ходе работы [6]. Исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что, тепловые процессы, проявляющиеся в процессе трения, комплексны и имеют большое влияние на износ трущихся тел.

Помимо непосредственной области трибологического контакта двух тел исследуются также специфические особенности стационарного температурного поля в полупространстве [7].

Несмотря на то, что в данной тематике уже проведено большое количество исследований, вопрос о теплофизических процессах при трении раскрыт не полностью. В настоящее время остается много вопросов для компьютерного теоретически-идеального моделирования в сочетании с практическим натурным экспериментом.

Список литературы

1. Амосов А. П. Элементарные теплофизические модели трения //Известия самарского научного центра российской академии наук. – 2011. – т. 13. – №. 4-3.
2. Амосов А.П. Теплофизические модели трения инертных и взрывчатых материалов. – м.: машиностроение, 2011. – 363 с.
3. Тюрин А. Е. Исследование тепловых процессов в трибоконтате при изнашивании //октябрь. – 2012. – Т. 2013. – №. 2011.
4. Машков Ю.А. Термодинамика физикохимических процессов в металлополимерных трибосистемах//Омский научный вестник. – 2012. - № 2-110.
5. Лепеш Г.В., Лепеш А.Г. Исследование математической модели процесса высокоскоростного трения и изнашивания//Технико-технологические проблемы сервиса. – 2015. – № 2(32).
6. Степанов М.В. Тепловые эффекты, возникающие при трении// Вестник ИТМО. – 2015.
7. Аттетков А. В., Волков И. К., Тверская Е. С. Температурное поле изотропного полупространства, подверженного локальному фрикционному нагреву в результате трения верчения //Вестник Московского государственного технического университета им. НЭ Баумана. Серия: Машиностроение. – 2006. – №. 2. – С. 35-44.

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМАЦИЮ 3D-НАПЕЧАТАННОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V ПРИ СКРЕТЧ-ТЕСТИРОВАНИИ

А.М. Кастеров, инженер

Е.Д. Кузьминов, инженер

С.А. Мартынов, к.ф.-м.н., м.н.с.

А.Р. Шугуров, д.ф.-м.н., в.н.с.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г.Томск,

пр.Академический, 2/4,

тел.(3822)-492-125

E-mail: evgenij_kuzminov00@mail.ru

Благодаря уникальному сочетанию таких свойств как высокое соотношение механических характеристик к плотности, высокая коррозионная стойкость и низкая теплопроводность титан и сплавы на его основе являются одними из наиболее перспективных конструкционных материалов. В последние годы большой интерес к титановым сплавам связан с развитием 3D печати или аддитивных технологий, которые предполагают изготовление изделия на основе цифровой модели путем послойного добавления материала в виде металлического порошка или проволоки. Однако существенным недостатком титана и сплавов на его основе остается низкая износостойкость. Одним из наиболее эффективных способов повышения износостойкости металлических материалов является нанесение на них защитных керамических покрытий, обладающих высокой твердостью в сочетании со стойкостью к окислению. При этом эффективность защитных свойств покрытий зависит от многих факторов, таких как материалы покрытия и подложки, толщина покрытия, условия нагружения системы покрытие-подложка и др. Целью данной работы явилось исследование влияния твердых керамических покрытий системы Ti-Al-N на деформацию образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V при скретч-тестировании, которое является эффективным методом исследования процессов абразивного изнашивания материалов.

Образцы для исследований представляли собой пластины из сплава Ti-6Al-4V, вырезанные электроискровой резкой из 3D-напечатанных изделий, полученных методом электронно-лучевой плавки. Использовались следующие параметры 3D печати: ускоряющее напряжение 30 кВ, ток электронного пучка 21 мА, скорость перемещения пучка вдоль поверхности изделия 4 мм/с, скорость подачи проволоки 2 м/мин. Покрытия на основе системы Ti-Al-N наносили методом реактивного магнетронного распыления. Были получены однослойные покрытия $Ti_{0,45}Al_{0,55}N$ и $Ti_{0,41}Al_{0,49}Ta_{0,10}N$, а также многослойная композиция $Ti_{0,45}Al_{0,55}N/Ti_{0,45}Al_{0,55}$, состоящая из 7 слоев (4 слоя Ti-Al-N и 3 слоя Ti-Al). Толщина слоев составляла 0,6/0,2 мкм, а общая толщина покрытий - 3,0 мкм. Механические характеристики покрытий были исследованы методом наноиндентирования и скретч-тестирования с помощью приборов NanoTest и Revetest-RST соответственно.

Методом наноиндентирования показано, что образцы Ti-6Al-4V имеют твердость $H=3,9$ ГПа и приведенный модуль Юнга $E^*=120$ ГПа. Наиболее высокими значениями H (34,8 ГПа) и E^* (360 ГПа) характеризуется покрытие $Ti_{0,45}Al_{0,55}N$. У покрытий $Ti_{0,45}Al_{0,55}N/Ti_{0,45}Al_{0,55}$ и $Ti_{0,41}Al_{0,49}Ta_{0,10}N$ наблюдается снижение H (до 33,5 и 31,5 ГПа, соответственно) и E^* (до 335 и 314 ГПа, соответственно).

Исследование закономерностей формирования деформационного рельефа на поверхности образцов из сплава Ti-6Al-4V в процессе их скретч-тестирования, выявило, что сочетание нормальной и тангенциальной нагрузок обуславливает деформацию материала по механизму пропахивания и формирование царапин на поверхности. На рисунке 1 показаны изображения царапин, зависимости коэффициента трения и сигналов акустической эмиссии

от приложенной нагрузки. Для образцов с покрытиями также указаны критические нагрузки для возникновения первой трещины L_{c1} и локального отслоения покрытия L_{c2} . Установлено, что в процессе нагружения происходит пластическое оттеснение материала титановой подложки из царапин перед индентором и в двух боковых направлениях, перпендикулярных направлению царапания, приводящее к образованию навалов по краям царапин. Исследования, проведенные методом дифракции обратно рассеянных электронов, выявили, что пластическая деформация материала в процессе нагружения способствует его фрагментации, то есть образованию в царапинах большого количества локальных областей с разориентировкой кристаллической структуры.

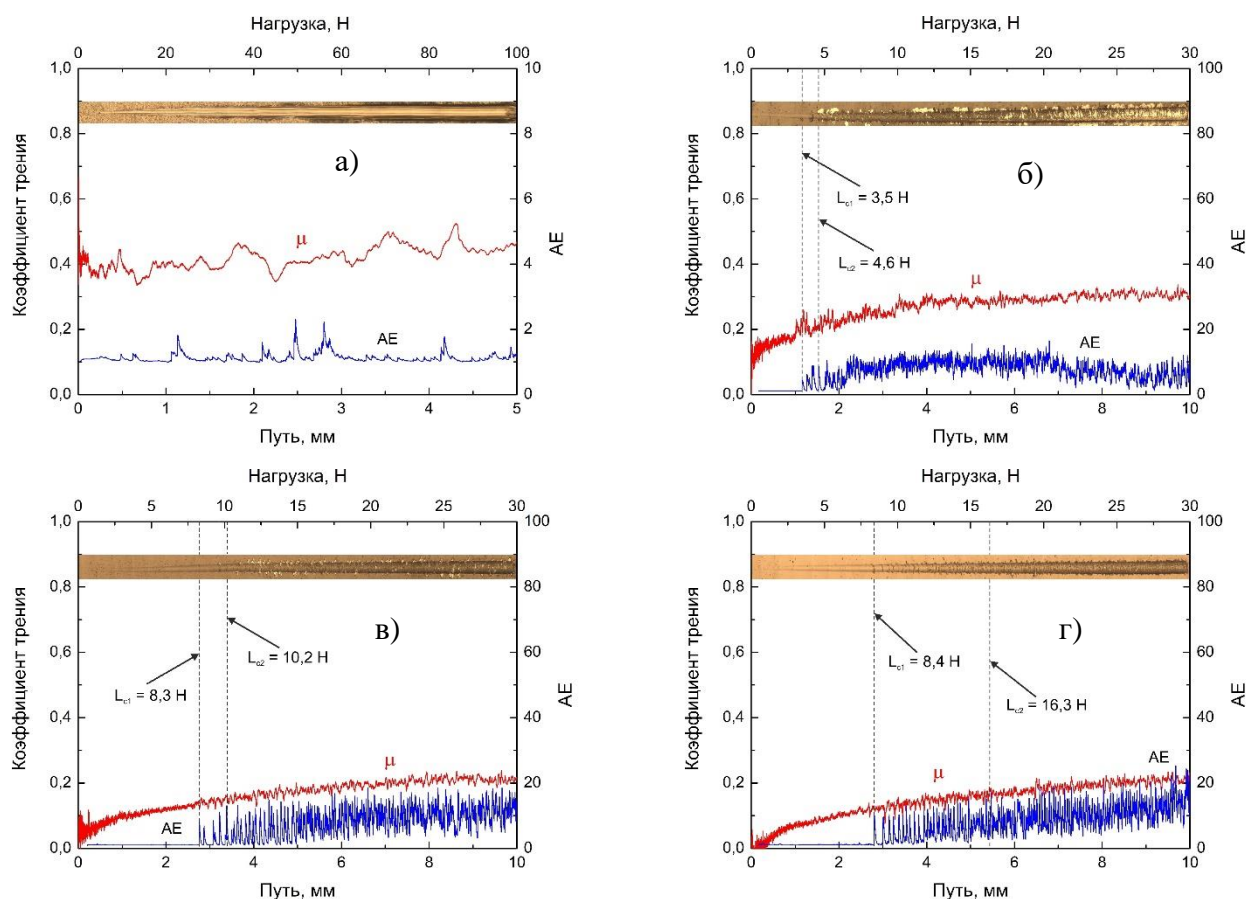


Рис. 1. Изображения царапин, коэффициент трения (μ) и сигналы акустической эмиссии (АЕ) Ti-6Al-4V (а) и покрытий $Ti_{0,45}Al_{0,55}N$ (б), $Ti_{0,45}Al_{0,55}N/Ti_{0,45}Al_{0,55}$ (в), $Ti_{0,41}Al_{0,49}Ta_{0,10}N$ (г), полученные методом скретч-тестирования. Указаны критические нагрузки для возникновения первой трещины (L_{c1}) и отслоения покрытия (L_{c2})

Показано, что нанесение покрытий системы Ti-Al-N позволило снизить коэффициент трения и существенно уменьшить остаточную глубину царапин на поверхности образцов Ti-6Al-4V. Регистрация сигналов акустической эмиссии в процессе скретч-тестирования покрытий позволила определить начало процесса их разрушения. Наиболее высокую стойкость к образованию трещин продемонстрировали покрытия $Ti_{0,45}Al_{0,55}N/Ti_{0,45}Al_{0,55}$ и $Ti_{0,41}Al_{0,49}Ta_{0,10}N$. Последнее покрытие также обладает наиболее сильной адгезией к титановой подложке. Таким образом, проведенные исследования показали, что нанесение покрытия $Ti_{0,41}Al_{0,49}Ta_{0,10}N$ на 3D-напечатанные изделия из сплава Ti-6Al-4V является наиболее эффективным для повышения их стойкости к скретч-тестированию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-48-700009.

**ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
РЕАКТОРНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК**

¹А.В. Ким, студент гр. 051810, ^{1, 2}С.А. Аккузин, м.н.с.,
^{1, 2}И.Ю. Литовченко, д.ф.-м.н., доцент, ^{1, 2}Е.Н. Москвичев, к.ф.-м.н., м.н.с.
¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,
²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,
тел. +7(923)-417-0978
E-mail: aneeta.2001@list.ru

Прогресс в ядерной энергетике определяется созданием новых высокопрочных и радиационно-стойких конструкционных материалов и оптимизацией режимов обработки существующих материалов. В реакторах на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800 для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) используется аустенитная сталь ЭК-164 (07X16N19M2G2BTP) [1]. Указанная сталь обладает высокими значениями пластичности, коррозионной и радиационной стойкости за счет комплексного легирования.

Ранее на сталях аустенитного класса была показана возможность повышения прочностных свойств за счет модификации микроструктуры в условиях различных термомеханических обработок [2, 3]. На сталях реакторного назначения влияние термомеханических обработок на микроструктуру и свойства изучено мало.

В настоящей работе исследовано влияние последовательности высокотемпературной термомеханической обработки, состоящей из горячей и теплой пластической деформации прокаткой ($\approx 50\%$ за 1 проход с нагревом до $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\approx 50\%$ за 1 проход с нагревом до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\approx 45\%$ за 2 прохода с нагревом до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также последующей холодной деформации при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\approx 25\%$ за 5 проходов) на микроструктуру стали ЭК-164. Методами просвечивающей электронной микроскопии изучены особенности микроструктуры стали в различных состояниях. Проведены испытания на растяжение при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Показано, что горячая пластическая деформация при $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к развитию процессов фрагментации внутри зерен. В результате формируются вытянутые вдоль направления прокатки искривленные пластины (рис. 1 а). Ширина пластин может достигать нескольких микрон. Пластины имеют преимущественно малоугловые границы разориентации. Последующая деформация при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличивает плотность дислокаций, размеры пластин изменяются незначительно (рис. 1 б). Высокая температура деформации ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к частичному возврату и рекристаллизации.

Последующая теплая деформация при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (после 1100 и $900\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к уменьшению размеров пластин (рис. 1 в). Расстояния между пластинами уменьшается до $\approx 200 - 500\text{ нм}$. Количество мало- и высокоугловых границ увеличивается по сравнению с деформацией при более высоких температурах.

Последующая (после горячей и теплой) деформация при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ способствует развитию механического двойникования во фрагментированной структуре стали. Формирование микродвойников наблюдается внутри пластин шириной более 100 нм . Малоугловые границы пластин не являются препятствием для распространения пакетов микродвойников (рис. 1 г). В отдельных областях структуры сохраняются фрагментированные пластины без двойникования. Связано это с локализацией деформации.

Изучены механические свойства стали после термомеханических обработок. В исходном состоянии значения предела текучести составляют $\approx 201,4 \pm 2\text{ МПа}$, предела прочности $\approx 539,2 \pm 9,6\text{ МПа}$, относительное удлинение $\approx 47,4 \pm 0,1\%$. После термомеханической обработки прочностные свойства существенно возрастают – предел текучести $\approx 911,9 \pm 25\text{ МПа}$, предел

прочности $\approx 1041,4 \pm 34,7$ МПа. При этом относительное удлинение уменьшается до $5,4 \pm 0,6\%$. Значительное повышение прочности и снижение пластичности обусловлено указанными выше особенностями микроструктуры.

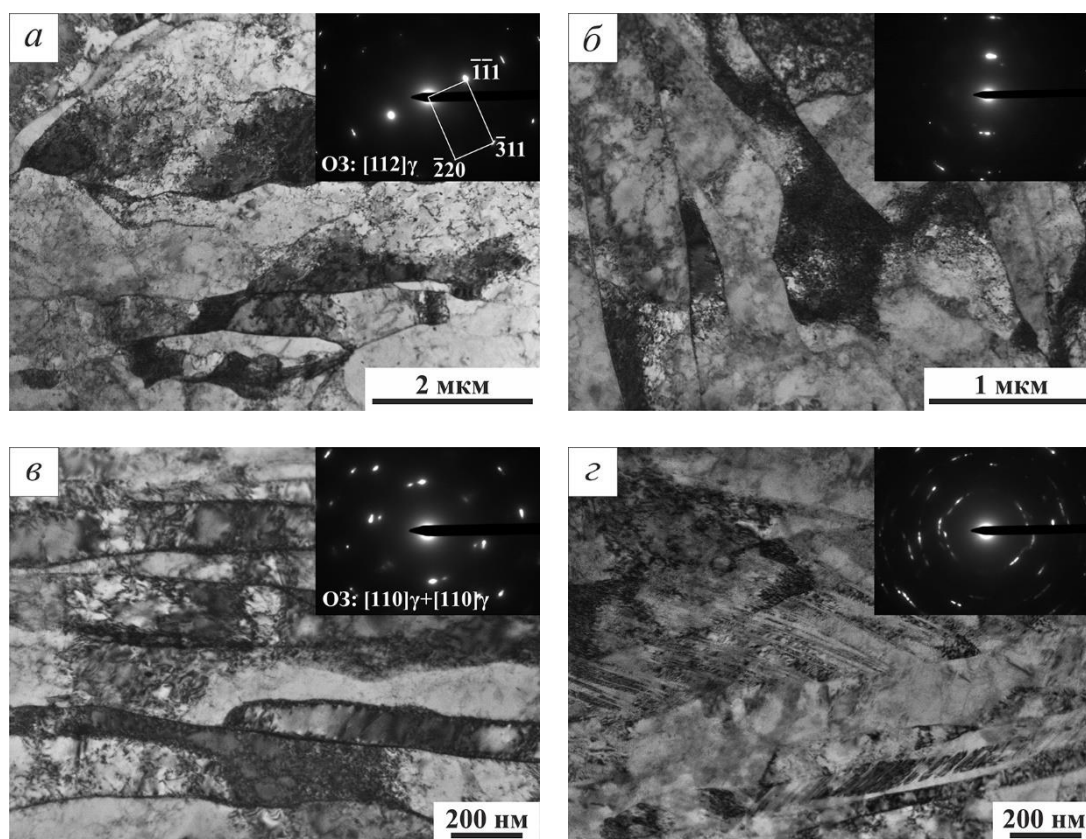


Рис. 1. Микроструктура аустенитной стали ЭК-164: *а* – горячая деформация при 1100 °С, *б* – горячая деформация при 1100 °С и теплая деформация при 900 °С, *в* – горячая деформация при 1100 °С и теплая деформация при 900 °С и 600 °С, *г* – горячая деформация при 1100 °С, теплая деформация при 900 °С и 600 °С и холодная деформация при 20 °С.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (2021–2023 гг.). Авторы выражают благодарность Чернову В.М. и Митрофановой Н.М. за предоставленные образцы стали ЭК-164.

Список литературы:

1. Митрофанова Н.М., Леонтьева-Смирнова М.В., Иванов Ю.А, Чурюмова Т.А., Васильев Б.А., Фарахин М.Р., Сараев О.М., Ошканов Н.Н., Чуев В.В., Бычков С.А., Ильяшик М.И. ТВЭЛ реактора на быстрых нейтронах // Полезная модель к патенту РФ № 127235. Заявл. 20.11.12; Оpubл. 20.04.2013. БИ №11. С. 10.
2. Torganchuk V., Belyakov A., Kaibyshev R. Effect of rolling temperature on microstructure and mechanical properties of 18%Mn TWIP/TRIP steels // Materials Science and Engineering A. 2017. Vol. 708. P. 110–117.
3. Аккузин С.А., Литовченко И.Ю. Влияние деформации и кратковременных высокотемпературных отжигов на микроструктуру и механические свойства аустенитной стали 02Х17Н14М3 // Известия ВУЗов. Физика. 2019. Т. 62. № 8. С.190–195.

ПАРАМЕТРЫ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ Zr\Nb

*Р.С. Лантев, к.т.н., доц.,
А. Ломыгин, аспирант гр. А1-08
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: lomyginanton141@gmail.com*

Многослойные покрытия, состоящие из чередующихся друг с другом и слоев, благодаря своим уникальным характеристикам идеально подходят для ряда структурных и электронных применений, открывают новые горизонты в природном и промышленном мире. В частности, возможность указать свойства отдельных, дискретных слоев, а также интерфейс, с высокой точностью, обеспечивает высокий уровень контроля над механическими, тепловыми и электрическими свойствами композита, а именно, прочностью, твердостью, защитными свойствами от того или иного воздействия [1, 2, 3].

Наноразмерные металлические системы (НМС) Zr/Nb были осаждены на монокристаллическую подложку Si (110) методом магнетронного распыления с толщиной отдельных слоев около 100 ± 10 (ZrNb100) нм. Общая толщина покрытий составляла $1,05 \pm 0,05$ мкм. После осаждения подложки с многослойными покрытиями Zr/Nb были разрезаны на пластины 10×10 мм и облучены перпендикулярным пучком H^+ с энергией 1750 кэВ в течение 15, 30 и 120 мин при ионном токе около 2 мкА. Таким образом, доза облучения находилась в диапазоне от $3,4 \cdot 10^{15}$ до $3,4 \cdot 10^{16}$ ионов/см². Бездефектные эталонные образцы были исследованы с помощью метода ПАС доплеровское уширение аннигиляционной линии (ДУАЛ) с использованием переменной энергии позитронов в ОИЯИ ЛЯП в г. Дубна. Использовался моноэнергетический поток позитронов диаметром 5 мм с интенсивностью 10^6 e⁺/s. Диапазон энергий имплантированного позитрона составлял от 0,1 кэВ до 30 кэВ. Аннигиляционное γ -излучение регистрировалось детектором H_rGe с энергетическим разрешением 1,20 кэВ, интерполированным для энергии 511 кэВ. Полученные спектры ДУАЛ были проанализированы путем извлечения параметров S и W из линии аннигиляции и энергетического спектра фотонов, соответственно. Первый из них определяется как отношение площади под центральной частью линии 511 кэВ к общей площади ниже этого пика. Он оценивает участие пар позитрон-электрон с малым импульсом, происходящим главным образом при открытых объемных дефектах в кристаллической структуре. В основном более высокое значение этого параметра отражает большую концентрацию дефектов.

На рисунке 1 изображена зависимость S и W параметра от энергии позитронов для облученных и исходных НМС Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев 100 ± 10 нм (ZrNb100).

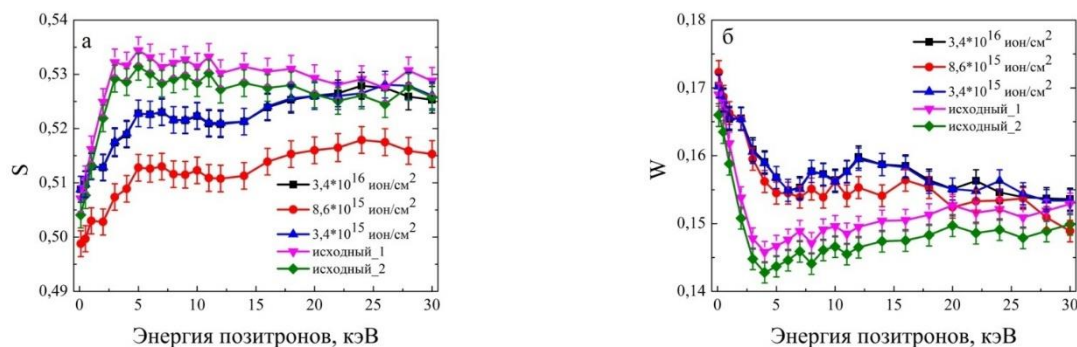


Рис. 1. График зависимости S (а) и W (б) параметров от энергии позитронов для облученных и исходных НМС ZrNb100

Как видно из рисунка 1а, значение S параметра облученных образцов отличается от исходных, если исходные образцы и облученный образец с максимальной дозой $3,4 \cdot 10^{16}$ ионов/см² находится на одинаковом уровне с учетом погрешности, то образцы с дозой облучения $3,4 \cdot 10^{15}$ ионов/см² и $8,6 \cdot 10^{15}$ ионов/см² имеют меньшее значение S параметра. На рисунке 2 изображена зависимость $S = f(W)$ для облученных и исходных НМС ZrNb100.

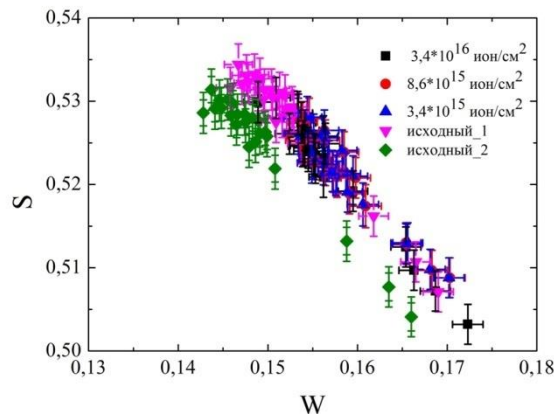


Рис. 2. График зависимости $S = f(W)$ для облученных и исходных НМС ZrNb100

Как видно из рисунка 2, зависимость $S = f(W)$ имеет линейный характер, что говорит о том, что при облучении возникает один тип дефектов.

Некогерентные границы раздела присутствующие в наноразмерных многослойных покрытия являются стоком дефектов. Также данные границы имеют высокие механические характеристики за счет ограничения в распространении дислокаций. В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- исследование распределение дефектов в облученных НМС Zr/Nb показало, что дефектная структура образцов находится примерно на одинаковом уровне вне зависимости от дозы облучения с учетом погрешности измерений;
- анализ дефектной структуры методом ДУАЛ показал, что во всем диапазоне энергий имплантированных позитронов наблюдается тенденция к уменьшению значения S -параметра ДУАЛ с увеличением дозы облучения;
- в исследованных НМС Zr/Nb до и после облучения протонами сохраняется один преобладающий центр захвата позитронов – избыточный свободный объем вблизи границы раздела в окрестности циркония.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10343).

Список литературы:

1. Callisti M., Lozano-Perez S., Polcar T. Structural and mechanical properties of γ -irradiated Zr/Nb multilayer nanocomposites // *Materials Letters*. – 2016. – Vol. 163. – P. 138–141
2. Laptsev R., Lomygin A., Krotkevich D., Syrtanov M., Kashkarov E., Bordulev Yu., Seimek K., Kobets A. Effect of Proton Irradiation on the Defect Evolution of Zr/Nb Nanoscale Multilayers // *Metals*. – 2020. – Vol. 10. – №. 4. – Article number – 535, P. 1–12
3. Laptsev R., Svyatkin L., Krotkevich D., Stepanova E., Pushilina N., Lomygin A., Ognev S., Seimek K., Uglov V. First-Principles Calculations and Experimental Study of H⁺-Irradiated Zr/Nb Nanoscale Multilayer System // *Metals*. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – Article number – 627, P. 1–17

КОМБИНИРОВАННАЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ

*А.А. Леонов, м.н.с.,
Ю.А. Денисова, к.ф.-м.н., с.н.с.,
В.В. Денисов, к.т.н., зав. лаб.,
М.В. Савчук, м.н.с.,
В.Н. Тищенко, инженер,
Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, г.Томск, пр.Академический, 2/3,
тел.(3822)-900-218
E-mail: laa-91@yandex.ru*

Штампы для холодного деформирования работают в условиях высоких переменных нагрузок, выходят из строя вследствие хрупкого разрушения, малоциклового усталости и изменения формы и размеров за счет смятия и износа [1]. Поэтому стальные штампы, которые пластически деформируют металл при нормальных температурах, должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и прочностью, сочетающейся с достаточной вязкостью. Процесс ионно-плазменного азотирования (ИПА) – это хорошо известный метод, который используется для улучшения поверхностных свойств сталей [2]. Однако при сильном поверхностном износе и коррозии азотированные детали не показывают достаточной стойкости. С дополнительным защитным слоем, таким как твердое керамическое покрытие, свойства поверхности деталей могут быть дополнительно улучшены. Целью работы: исследование влияния нитридного слоя, формируемого при азотировании, на свойства штамповой стали Х12МФ после комбинированной обработки, включающей ионно-плазменное азотирование и вакуумно-дуговое напыление на азотированный подслоем многослойных и композитных покрытий системы (Ti, Cr)N.

В качестве материала для исследования использовали предварительно закаленную штамповую сталь Х12МФ. Перед комбинированной обработкой образцы шлифовали и полировали до зеркального блеска. Шероховатость поверхности (Ra) исходных образцов составляла 0,05 мкм. Азотирование стальных образцов проводили в плазме тлеющего разряда с полым катодом на экспериментальной установке. Азотирование проводили по двум режимам: 1 – газовая среда N₂ при давлении 1 Па и 2 – смесь газов 50 % N₂ и 50 % Ar при общем давлении 0,25 Па. Постоянными параметрами в процессах азотирования были: напряжение смещения подложки (–) 600 В, температура подложки 520 °С и время азотирования 3 ч. При 1 режиме азотирования на поверхности образцов формировался «белый» нитридный слой, а при 2 режиме нитридного слоя не было [3]. Перед напылением покрытий азотированные образцы полировали. Напыление покрытий осуществляли вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом на установке «КВАДРО». Для генерации потока металлической плазмы использовались два дуговых испарителя с цилиндрическими катодами диаметром 80 мм из Ti марки ВТ1-0 и Cr (99,8 %). Источник газовой плазмы с накаливаемым и полым катодом «ПИНК» использовали для нагрева образцов и предварительной очистки их поверхности путём ионного травления, а также для дополнительной ионизации газа. Напыляли 32-слойное покрытие CrN/TiN с толщиной каждого слоя около 125 нм при токах электродуговых испарителей 80 А для Ti и 90 А для Cr и композитное покрытие TiCrN при одновременной работе Ti и Cr испарителей при токах 80 А и 80 А, соответственно. Постоянные параметры при напылении: напряжение смещения подложки (–) 150 В, температура подложки 390-400 °С, азот-аргоновая газовая смесь (90 % (N₂) и 10 % (Ar)) при давлении 0,6 Па. Триботехнические испытания покрытий осуществляли на трибометре TRIBOtechnic (Франция) в условиях сухого трения при возвратно-поступательном перемещении образца относительно контртела, которое

представляло собой шарик из Al_2O_3 диаметром 6 мм. Скорость перемещения образца 25 мм/с, нагрузка на шарик 12 Н, длина трека 5 мм, путь трения 100 м.

Из рис. 1а видно, что у образца, азотированного по режиму 1 (при 1Па) толщина «белого» нитридного слоя 5-7 мкм, а толщина диффузионного слоя около 70 мкм. У образца, азотированного по режиму 2 нитридный слой отсутствует (рис. 1б) и толщина диффузионного слоя около 55-65 мкм.



Рис. 1. Оптические изображения структуры поперечных шлифов азотированных образцов по режиму 1 с нитридным слоем (а) и по режиму 2 без нитридного слоя (б).

Из таблицы 1 видно, что азотирование поверхности стали Х12МФ приводит к снижению как коэффициента трения, так и параметра износа. Коэффициент трения в среднем снижается в 1,4 раз, а параметр износа снижается для образца с нитридным слоем (ИПА 1 Па) в 12,9 раз и для образца без нитридного слоя (ИПА 0,25 Па) в 22,7 раз. Также из таблицы видно, что для каждой партии азотированных образцов с покрытиями, нитридный слой не оказывает значительного влияния на триботехнические характеристики. Наименьший коэффициент трения (0,159) имеют азотированные образцы стали Х12МФ с покрытием TiCrN, а наименьший параметр износа ($2,08-2,13 \times 10^{-7} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) имеют образцы с покрытием CrN.

Таблица 1. Триботехнические характеристики исследуемых образцов.

Образец	Коэф. трения (f)	Параметр износа (k), $\times 10^{-7} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$
Х12МФ исходный	0,622	222,88
ИПА 1 Па	0,461	17,33
ИПА 0,25 Па	0,440	9,83
ИПА 1 Па + CrN	0,329	2,13
ИПА 0,25 Па + CrN	0,322	2,08
ИПА 1 Па + 32сл. CrN/TiN	0,211	4,58
ИПА 0,25 Па + 32сл. CrN/TiN	0,209	4,33
ИПА 1 Па + TiCrN	0,159	5,38
ИПА 0,25 Па + TiCrN	0,159	4,79

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-08-00370 А.

Список литературы:

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П., Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Paosawatyanong B., et al., Nitriding of tool steel using dual DC/RFICP plasma process // Surface and Coatings Technology. – 2016. – V. 306. – P. 351–357.
3. Denisova Y., et al., Influence of nitrogen content in the working gas mixture on the structure and properties of the nitrided surface of die steel // 2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). – 2020. – P. 522–525.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ЗЕРЕННУЮ СТРУКТУРУ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181

*В.В. Линник, магистрант гр. 052011, И.Ю. Литовченко, д. ф.-м. н.,
Н.А. Полехина, к. ф.-м. н.
Томский государственный университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,36,
тел. +79539244806
E-mail: lera.linnik.1999@mail.ru*

Одними из перспективных материалов для ядерных реакторов нового поколения являются ферритно-мартенситные стали с содержанием хрома 12 % [1 – 3]. Для расширения диапазона рабочих температур этих сталей необходимо повысить их жаропрочность и снизить склонность к низкотемпературному охрупчиванию, для этого используются термические и термомеханические обработки. Исследования влияния различных обработок на микроструктуру и механические свойства стали ЭК-181 были начаты ранее [3], однако зависимость зеренной структуры стали ЭК-181 от режимов обработок исследовано мало. В данной работе сталь ЭК-181 исследовали после традиционной термообработки (ТТО), которая включала закалку от температуры 1100 °С 1 час и отпуск при 720 °С 3 часа, и после высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), которая заключалась в нагреве до температуры 1100 °С с выдержкой в течение 1 ч., горячей пластической деформации прокаткой за два прохода до величины $\epsilon \approx 25\%$ за каждый проход и закалке в воду. Между проходами образцы выдерживали в печи при 1100 °С в течении 10 минут для выравнивания температуры образца. После ВТМО был проведен отпуск при $T = 720\text{ °С}$ в течение 1 ч.

Исследования морфологии зерен ферритно-мартенситной стали ЭК-181 методом оптической металлографии показали наличие на протравленных шлифах границ бывших аустенитных зерен, внутри которых видны мартенситные пакеты (рис. 1). Средний размер таких зерен после традиционной термообработки составляет 100 мкм, в то время как после высокотемпературной термомеханической обработки он выше и составляет 128 мкм.

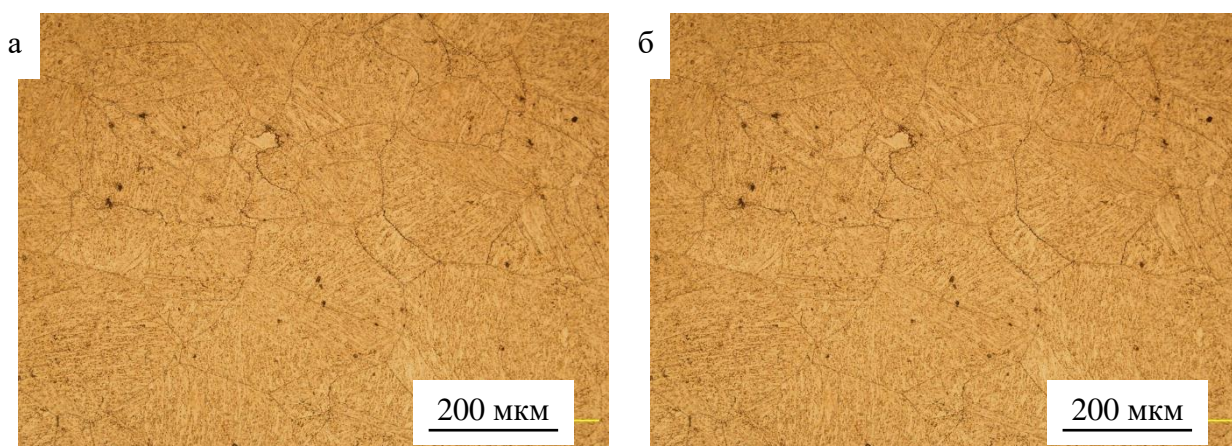


Рис. 1. Оптические изображения стали ЭК-181: а) ТТО; б) ВТМО.

Исследования ориентационных карт стали ЭК-181 после ТТО и ВТМО, полученных методом сканирующей электронной микроскопии с помощью дифракции обратно рассеянных электронов, показали, что после высокотемпературной термомеханической обработки пакеты мартенсита вытянуты в направлении прокатки. Средний размер пакетов мартенсита после ТТО составляет ≈ 3.3 мкм, а после ВТМО ≈ 2.5 мкм. При этом минимальный размер пакетов равен 0.7 мкм для состояний после ТТО и ВТМО, максимальный размер составляет 43.6 мкм после ТТО и 41.5 мкм после ВТМО (рис. 2).

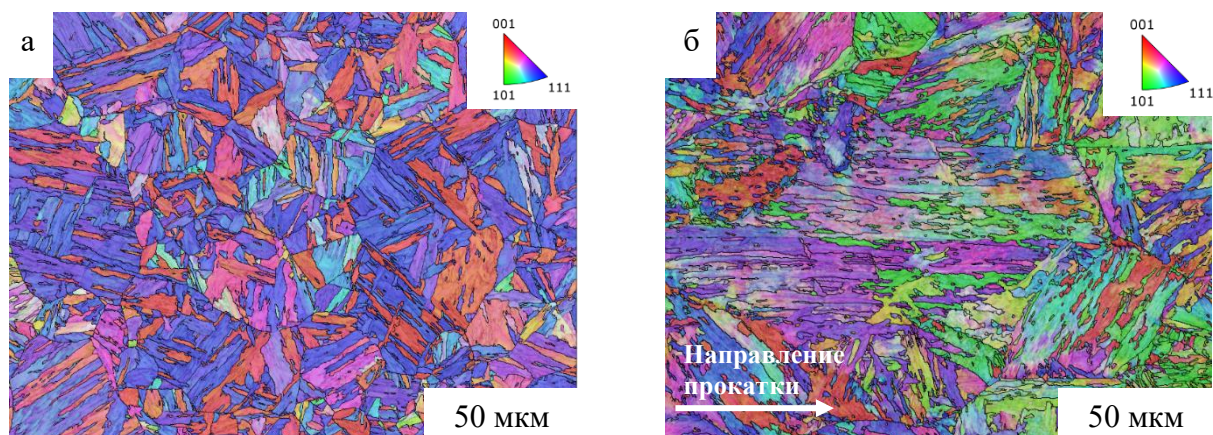


Рис. 2. Ориентационные карты стали ЭК-181: а) ТТО; б) ВТМО.

Анализ изображений, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии, показал, что микроструктура стали ЭК-181 после ТТО и ВТМО качественно аналогична и представлена ламелями мартенсита и ферритными зернами. В ферритно-мартенситной структуре обнаружены наноразмерные частицы типа МХ (М – V, X – C, N) и грубодисперсные частицы карбидов $M_{23}C_6$. Средние значения ширины мартенситных ламелей внутри пакетов составляют 0.7 мкм после ТТО и 0.25 мкм после ВТМО (рис. 3). Основными отличиями структуры стали после этих обработок является плотность и размеры дисперсных частиц типа МХ и $M_{23}C_6$, а также более высокая плотность дислокаций (до $\rho \approx 8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$) после ВТМО.

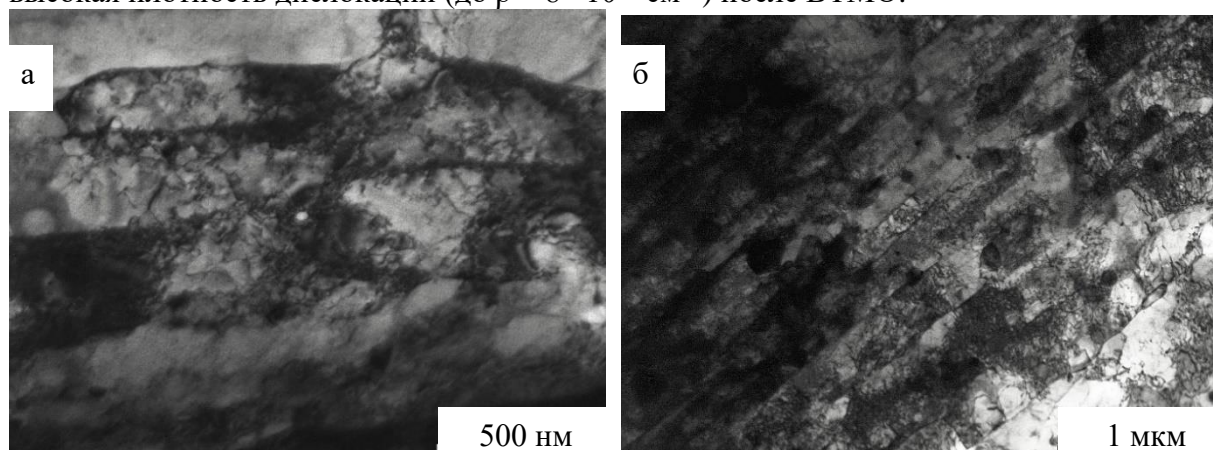


Рис. 3. Микроструктура стали ЭК-181: а) ТТО; б) ВТМО.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00231, <https://rscf.ru/project/21-79-00231/>.

Авторы выражают благодарность Чернову В.М. и Леонтьевой-Смирновой М.В. за предоставленные образцы стали ЭК-181.

Список литературы:

1. Prakash P., Vanaja J., Srinivasan N., Parameswaran P., Nageswara Rao G.V.S., Laha K. Effect of Thermo-Mechanical Treatment on Tensile Properties of Reduced Activation Ferritic-Martensitic Steel // *Materials Science & Engineering A*. – 2018. – № 724. – P. 171 – 180.
2. Tan L., Hoelzer D.T., Busby J.T., Sokolov M.A., Klueh R.L. Microstructure control for high strength 9Cr ferritic–martensitic steels // *Journal of Nuclear Materials*. – 2012. – № 442. – P. 45 – 50.
3. Полехина Н.А., Литовченко И.Ю., Тюменцев А.Н., Кравченко Д.А., Чернов В.М., Леонтьева-Смирнова М.В. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки в аустенитной области на микроструктуру и механические свойства малоактивируемой 12%-ной хромистой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 // *Журнал технической физики*. – 2017. Том 87. – Вып. 5. – С. 716 – 721.

АНИЗОТРОПНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗЫ $Ti_3(Si,Al)C_2$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Ю.Р. Мингазова, студент гр. ОБМ01

Е.Б. Кашкаров, к.ф.-м.н. научный сотрудник

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30,

E-mail: yula.mingazova@mail.ru

Материалы на основе МАХ фаз являются перспективными для промышленного применения так как обладают набором уникальных свойств характерных для металлов и керамики, таких как высокая температура плавления, высокая тепло- и электропроводность, стойкость к термическим ударам, высокая прочность и коррозионная стойкость [1]. Наиболее хорошо изученными являются МАХ-фазы на основе систем Ti-Si-C и Ti-Al-C [2], свойства которых позволяют их рассматривать для применения в авиакосмической, транспортной и энергетической промышленности.

С целью функционализации могут создаваться функционально-градиентные материалы (ФГМ) на основе МАХ-фаз [3]. В настоящей работе для формирования ФГМ на основе МАХ-фаз системы Ti-Si-Al-C предлагается использования нового подхода, основанного на формировании ламинатов из прекерамических бумаг разного состава с последующим искровым плазменным спеканием (ИПС). Применение прекерамических бумаг позволяет регулировать состав каждого слоя, легко задавать форму листов и обеспечивать равномерную укладку слоев материала [4].

Для формирования ФГМ использовалась прекерамическая бумага с различными порошковыми наполнителями (Ti_3SiC_2 и $Ti_3Al(Si)C_2$). Прекерамическая бумага была изготовлена с помощью бумагодельной машины D7 (Sumet Systems GmbH, Денклинген, Германия). Путем различной укладки, из бумаг с порошковым наполнителем Ti_3SiC_2 (TSC) и $Ti_3Al(Si)C_2$ (TASC), были подготовлены два “стэка” с различной архитектурой. Первый образец состоял из слоев прекерамической бумаги TSC и TASC, которые были уложены по 3 слоя с четырехкратным повторением (3TASC/3TSC)₄, наименование образца - ФГМ2-2. Второй образец (ФГМ6-12-6) - 6TASC/12TSC/6TASC. Спекание композитов проводилось методом ИПС на установке Advanced Technology SPS 10-4 в среде вакуума при температуре 1250 °С, давлении 50 МПа, со скоростью нагрева 180 °С/мин в течение 5 минут. Твердость полированных образцов измерялась вдоль поперечного шлифа методом Виккерса на установке KB 30S (Pruftechnik, Германия) при нагрузке 9,8 Н.

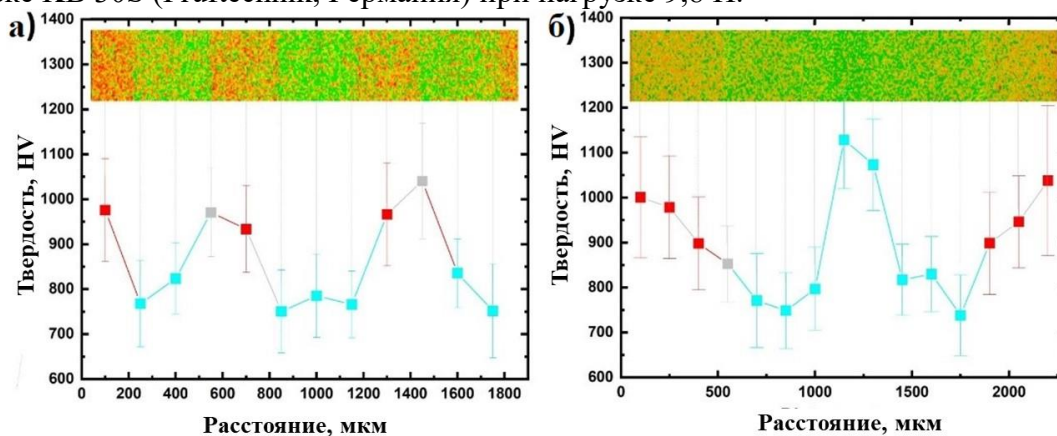


Рис.1. График зависимости твердости градиентных материалов по глубине образца: ФГМ3-3 (а) и ФГМ6-12-6 (б).

Анализ изменения твердости вдоль поперечного сечения проводился на образцах ФГМ3-3 и ФГМ6-12-6. Результаты измерений представлены на рисунке 1. Видно, что

твердость слоев композитного материала с преобладающим содержанием МАХ-фазы Ti_3SiC_2 варьируется от 740 HV до 820 HV, в то время как твердость слоев с $Ti_3Al(Si)C_2$ выше и варьируется в диапазоне от 880 до 1000 HV. Границы раздела слоев в основном имеют более высокие значения твердости, чем слои с МАХ фазой обогащенной кремнием, по-видимому, за счет большего содержания более твердых силицидной и карбидной фаз. Для образца ФГМ6-12-6, можно заметить плавное снижение твердости при переходе от внешних слоев $Ti_3Al(Si)C_2$ и обратный рост этого параметра к центру образца, что связано с повышенным содержанием TiC в данной области.

Индентирование также было использовано для анализа и оценки анизотропии механических свойств ФГМ. Было установлено, что диагональные длины поверхностных отпечатков на поверхности образцов (TTS) почти одинаковы, в то время как на поперечном шлифе (TSS) отпечаток принимает ромбическую форму при той же нагрузке вдавливания (рис. 2). Твердость на поверхности TTS (МАХ-фаза $Ti_3Al(Si)C_2$) составила в среднем 10,7 ГПа, на TSS в слое с большим содержанием этой же фазы – 9,5 ГПа. При исследовании анизотропии в слоях на основе $Ti_3Si(Al)C_2$ также наблюдается аналогичная закономерность: твердость TTS составила в среднем 8,7 ГПа, на TSS – 7,8 ГПа.

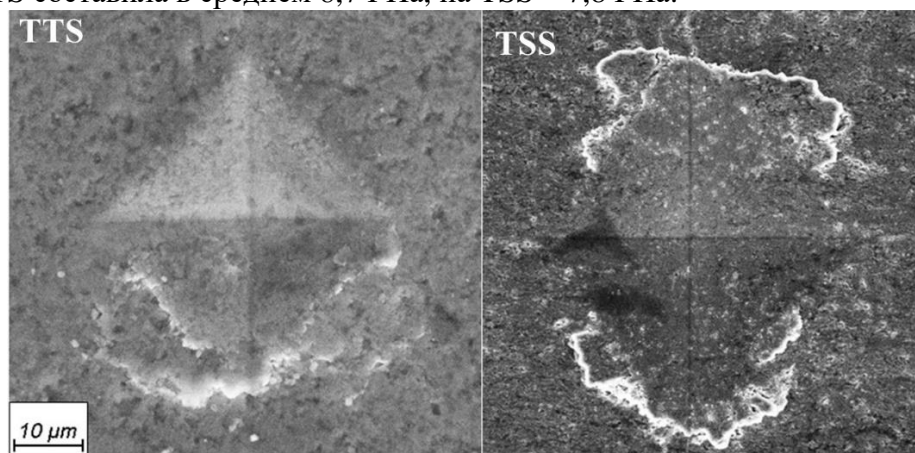


Рис.2. Изображение отпечатков на поверхности (TTS) и поперечном шлифе (TSS) образца

В рамках исследования было показано, что слои композита с преимущественным содержанием $Ti_3Al(Si)C_2$ являются более твердыми в сравнении со слоями на основе $Ti_3Si(Al)C_2$, что обусловлено более высокой долей упрочняющих фаз TiC и Al_2O_3 . Высокие значения твердости ФГМ также обусловлены мелкозернистой структурой, формируемой в результате ИПС композитов. Также стоит отметить существенное различие в значениях твердости TTS и TSS, которое составляет примерно 11 – 13%, что в свою очередь показывает четкую взаимосвязь между микроструктурой и анизотропными механическими свойствами синтезированных ФГМ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 19-19-00192.

Список литературы:

1. Barsoum M. W., Radovic M. Elastic and mechanical properties of the MAX phases //Annual review of materials research. – 2011. – Т. 41. – С. 195-227.
2. Kisi E. H. et al. Structure and crystal chemistry of Ti_3SiC_2 //Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1998. – Т. 59. – №. 9. – С. 1437-1443.
3. Cai Y. et al. Electrical conductivity and electromagnetic shielding properties of Ti_3SiC_2/SiC functionally graded materials prepared by positioning impregnation //Journal of the European Ceramic Society. – 2019. – Т. 39. – №. 13. – С. 3643-3650.
4. Travitzky, N., Windsheimer, H., Fey, T. and Greil, P., 2008. Pre-ceramic Paper-Derived Ceramics. Journal of the American Ceramic Society, 91(11), pp.3477-3492.

**УСТАНОВКА ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОРРОЗИОННОЕ
РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*Д.А. Никитин, студент гр. МТО-19-1б,
О.В. Ефимова, аспирант каф. МТО,
А.Н. Юрченко, ст. преп. каф. МТО,
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990,
г.Пермь, Комсомольский пр.,29,
тел. 89027994337
E-mail: aleksmto@gmail.com*

В настоящее время существуют различные методы и установки для испытаний на коррозионное растрескивание под напряжением [1-3]. Однако перед нами была поставлена задача: сконструировать установку с имитацией атмосферных условий, как наименее благоприятных для изделия, а также избежать использование дополнительных устройств, требующие денежных затрат. Кроме того, с помощью установки необходимо получать диаграмму статической коррозионной трещиностойкости.

В данной работе хотелось бы продемонстрировать установку, сконструированную на базе кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Пермского национального исследовательского политехнического университета. Она предназначена для испытаний на коррозионное растрескивание под напряжением при консольном изгибе в соляном растворе (3%-ый раствор NaCl) ударных образцов после нанесения усталостной трещины. Установка имеет некоторые отличительные признаки: во-первых, она имитирует атмосферные условия за счет использования капельной системы (в данном случае образец не погружен полностью в соляной раствор); во-вторых, капельная система позволяет изменять скорость подачи раствора на образец; в-третьих, стенд с миллиметровкой позволяет получать зависимости «изменение положения нагруженной части образца – время»; в-четвертых, в зависимости от размеров стола можно испытывать не один образец, а сразу несколько, что уменьшает время получения конечного результата.

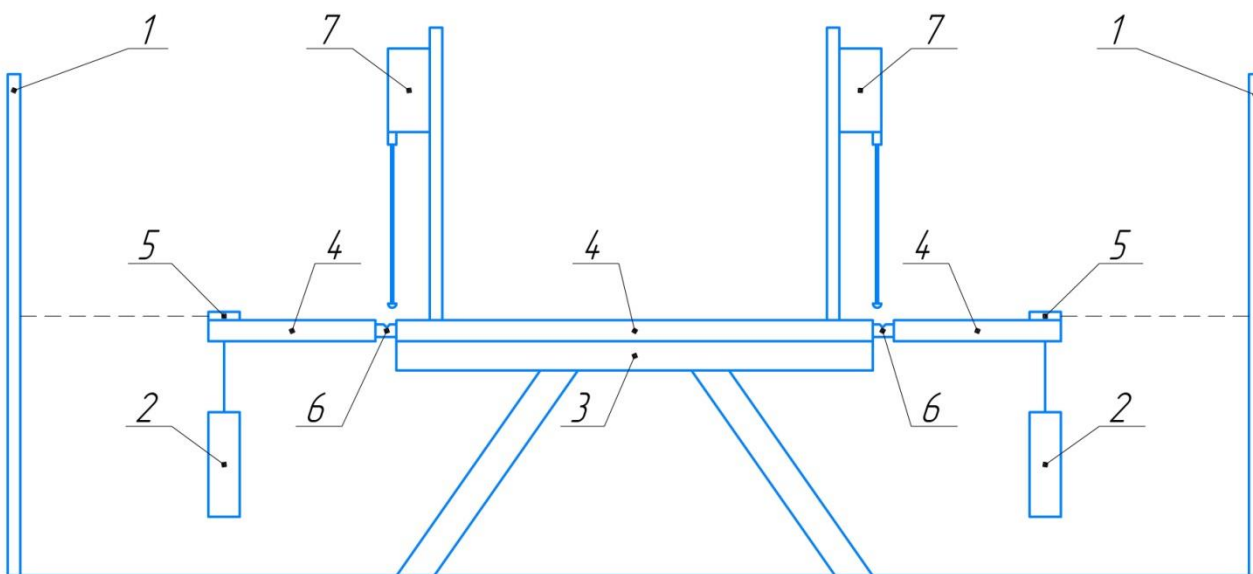


Рисунок 1. Установка на коррозионное растрескивание под напряжением при консольном изгибе: 1 – стенд с миллиметровкой; 2 – груз; 3 – стол; 4 – захват; 5 – лазерная указка; 6 – образец; 7 – капельная система.

В первую очередь, как говорится в ГОСТ 9.903-81, для построения диаграммы статической коррозионной трещиностойкости необходимо определить критический коэффициент интенсивности напряжений (K_{Ic}). Такие результаты уже получены для стали 40Х после различных температур отпуска [4].

В настоящий момент ведутся работы по построению зависимостей «изменение положения нагруженной части образца – время», что позволит, как предполагается, перейти к зависимости «изменение длины трещины - изменение положения нагруженной части образца» для каждого режима термического обработки стали 40Х. Это, в свою очередь, позволит построить диаграмму статической коррозионной трещиностойкости.

Список литературы

1. Методы коррозионных испытаний металлов / М. Н. Фокин, К. А. Жигалова. - М. : Металлургия, 1986. - 78,[1] с. : ил.; 20 см. - (Защита металлов от коррозии. Под общ.ред. Я. М. Колотыркина).
2. ГОСТ 9.903-81. Стали и сплавы высокопрочные. Методы ускоренных испытаний на коррозионное растрескивание.
3. Махненко В.И. Кинетика роста коррозионных трещин в трубной стали 17ГС / В.И. Махненко, Л.И. Маркашова, Е.Н. Бердникова [и др.] // Автоматическая сварка. 2010, № 6. С. 12-15.
4. Юрченко А.Н., Никитин Д.А., Кравченко А.В. Ускоренные испытания на коррозионную трещиностойкость // Инновационные технологии в металлведении и машиностроении (ИТММ–2021). С. 230-232

**ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ
ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ**

*А.В. Николаева, аспирант, м.н.с., А.П. Зыкова, к.ф.-м.н., н.с., А.В. Чумаевский, к.т.н., н.с., А.В.
Воронцов, аспирант, м.н.с., Т.А. Калашникова, к.т.н., м.н.с.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, пр.
Академический, 2/4,
тел.(3822)-286-863
E-mail: zykovaap@mail.ru*

Титановый сплав ВТ6 является привлекательным конструкционным материалом, который широко используются в аэрокосмической, химической, автомобильной и т.д. Тем не менее, сплав ВТ6 имеет плохие свойства поверхностного износа при использовании его в суровых условиях [1], что ограничивает срок службы изделий. В большинстве случаев использования ВТ6 достаточно или даже желательно усилить только поверхностный слой, в то время, как другая часть сплава сохраняет свой первоначальный состав и структуру с высокой ударной вязкостью. Учитывая, что износостойкость зависит от сопротивления процессу разрушения или отделения материала с поверхности твердого тела, модификация поверхности может обеспечить решение, позволяющее увеличить долговечность изделий из сплава ВТ6. В настоящее время технология фрикционной перемешивающей обработки (ФПО) хорошо зарекомендовала себя как высокоэффективная обрабатывающая технология, позволяющая получать материалы с улучшенными свойствами [2]. ФПО может быть использована для повышения износостойкости скольжения и твердости поверхности сплавов путем изменения микроструктурных характеристик поверхности, таких как измельчение зерна и деформационное упрочнение [3, 4]. Литературный обзор показал отсутствие данных по многопроходной ФПО титана марки ВТ6. Поэтому целью работы являлось исследование влияния многопроходной ФПО на эволюцию микроструктуры, механические свойства титанового сплава ВТ6.

В работе исследовали промышленные пластины ВТ6 размером $60 \times 300 \times 2.5$ мм³. Микроструктура исходных пластин ВТ6 в исходном состоянии характеризовалась первичными зернами α -фазы со средним размером $4,5 \pm 1,7$ мкм и зернограничной β -фазой со средним размером $1,4 \pm 0,7$ мкм. ФПО заготовок из ВТ6 проводили в ИФПМ СО РАН на оборудовании для сварки трением с перемешиванием с использованием следующих режимов: осевое усилие на инструменте 2300 кг, скорость вращения инструмента 375 об/мин, скорость перемещения 86 мм/мин. Четырехпроходную обработку ВТ6 проводили последовательными проходами ФПО строго по предыдущему треку обработки со 100% перекрытием зоны перемешивания.

Макроструктура полученных образцов характеризуется зоной перемешивания (ЗП), зоной термического влияния (ЗТВ) и основным металлом (ОМ). На всех этапах многопроходной ФПО ВТ6 формируется бездефектная структура зоны перемешивания. После первого прохода ФПО наблюдаются динамически рекристаллизованные равноосные α -зерна. За счет повышения температуры в ЗП в процессе ФПО произошло увеличение объемной доли и рост β -зерен. В ЗП присутствуют области и более крупных β -зерен. В некоторых β -зернах наблюдается β -трансформированная ламинарная α/β структура. Также в структуре ЗП можно наблюдать игольчатую α' -фазу. Наличие β областей с α -фазой игольчатого и ламинарного типа свидетельствуют о том, что сначала произошло $\alpha + \beta \rightarrow \beta$, а потом $\beta \rightarrow \alpha' + \beta$ превращение во время охлаждения в процессе ФПО. После 2, 3 и 4 проходов ФПО ВТ6 в ЗП аналогично формируются динамически рекристаллизованные равноосные α -зерна, β -зерна, β -области с α -фазой игольчатого и ламинарного типа. Значительных изменений в структуре

ЗП многопроходных образцов по сравнению с однопроходным образцом не наблюдается. Однако, после 2-4 проходов ФПО наблюдается изменение размеров зерен (рис. 1).

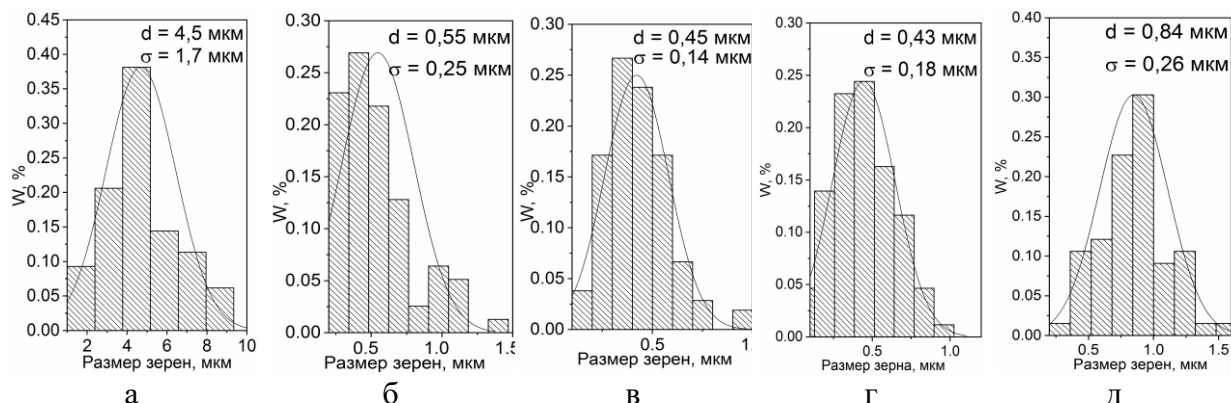


Рис. 1. Гистограммы распределения α -зерен по размерам: (а) в исходном ВТ6, (б) после однопроходной ФПО, (в) после двухпроходной ФПО, (г) после трехпроходной ФПО, (д) после четырёхпроходной ФПО.

Согласно гистограмме распределения зерен по размерам, средний размер зерен после 1 прохода ФПО составляет $0,55 \pm 0,25$ мкм, что на 88% ниже по сравнению с зёрнами в исходном ВТ6. После 2 и 3 проходов ФПО ВТ6 в зоне перемешивания наблюдается дальнейшее уменьшение размеров зерен, средний размер которых составляет $0,45 \pm 0,14$ мкм и $0,43 \pm 0,18$ мкм соответственно). После четвертого прохода ФПО ВТ6 в ЗП происходит значительное увеличение размеров зерен, средний размер которых зерен составил $0,84 \pm 0,26$ мкм, что в 2 раза больше по сравнению со средним размером зерен после 3 проходов ФПО.

Предел прочности и относительное удлинение исходного ВТ6 составляют 1006 МПа и 14,9% соответственно. После 1, 2 и 3 проходов ФПО происходит увеличение предела прочности на 17% по сравнению с исходным ВТ6. Повышение предела прочности при использовании многопроходной ФПО связано с измельчением зерен. Согласно соотношению Холла-Петча, уменьшение размера зерна образца приводит к увеличению механической прочности. Следовательно, более высокое значение предела прочности и предела текучести трехпроходного образца, связано с его меньшим размером зерен в зоне перемешивания. После 4 проходов ФПО предел прочности понижается до 686,6 МПа. После ФПО для всех образцов характерно снижение относительного удлинения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН.

Список литературы:

1. Chan K.S., Koike M., Okabe T. Modeling wear of cast Ti alloys // *Acta Biomaterialia*. – 2007. Т. – 3. – № 3. – С. 383–389.
2. Zyкова А.Р., Тарасов С.Ю., Чумаевский А.В., Колубаев Е.А. A Review of Friction Stir Processing of Structural Metallic Materials: Process, Properties, and Methods // *Metals*. –2020. – Т. 10. – № 772. С. 1-40.
3. Jiang L., Huang W., Liu C., Chai L., Yang X., Xu Q. Microstructure, texture evolution and mechanical properties of pure Ti by friction stir processing with slow rotation speed // *Materials Characterization*. – 2019. – Т. 148. – С. 1–8.
4. Mironov S., Sato Y.S., Kokawa H. Development of grain structure during friction stir welding of pure titanium // *Acta Materials*. – 2009. Т. 57. С. 4519–4528.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ И НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А.О. Панфилов, аспирант, м.н.с., Е.О. Княжев, аспирант, м.н.с., А.В. Зыкова, к.ф.-м.н., н.с., А.В. Чумаевский, к.т.н., н.с., Т.А. Калашиникова, к.т.н., н.с., Д.А. Гурьянов, м.н.с.

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, пр. Академический 2/4, г. Томск, Российская Федерация, тел. +7 (3822) 49-18-81
E-mail: tch7av@gmail.com*

В настоящее время развитие аддитивных технологий позволяет получать изделия для различных отраслей техники с управлением структурой и свойствами в процессе печати [1]. Цели создания нестандартных сочетаний эксплуатационных свойств в одном изделии могут быть различными. С одной стороны - это экономия дорогостоящих материалов в деталях, с упрочнением только в необходимых локальных областях, в которых требуются те или иные свойства изделия. С другой стороны - получение изделий с уникальными сочетаниями структуры и свойств, не достижимыми традиционными применяемыми технологиями. Наиболее развитыми методами аддитивного получения полиметаллических изделий в современной научно-исследовательской литературе являются основанные на селективном сплавлении порошков, наносимых послойно на подложку. В области технологий, основанных на прямом осаждении порошкового материала лазерным лучом в струе защитного газа, также достигнут существенный прогресс в области получения полиметаллических изделий. Технологии высокопроизводительного аддитивного электронно-лучевого проволочного производства для производства полиметаллических изделий применяются наиболее редко. Исходя из получения новых возможностей для формирования изделий с различным сочетанием материалов, структуры и свойств, появляется целесообразность для проектирования и применения на практике деталей с сочетанием различных материалов. Одними из примеров таких сочетаний материалов возможно отнести изделия на основе меди и аустенитной нержавеющей стали, позволяющих сочетать в детали высокую теплопроводность и электропроводность одних объемов деталей с высокой коррозионной стойкостью других участков. Для получения изделий ракетно-космического назначения на настоящее время широко применяются жаропрочные никелевые сплавы, способные работать в условиях высоких температур длительное время, а также различные вкладыши из меди, обладающие высокой теплопроводностью и способные быстро отводить тепло из рабочей зоны. Совмещение в одном изделии свойств меди и никелевого сплава имеет перспективы повышения эксплуатационных свойств различных двигателей за счет снижения массы и повышения эффективности работы деталей рабочей зоны. В частности, такие детали могут применяться для изготовления различных деталей реактивного двигателя (например, сопла), путем печати целого изделия, в то время как современное изготовление таких деталей направлено на получение по отдельности жаропрочных никелевых деталей и медных вкладышей. Для получения деталей такого типа необходимо применение методов аддитивного производства, позволяющих формировать градиентный плавный переход от меди - к никелевому сплаву, с сохранением высокой прочности градиентной зоны [1]. Исходя из вышперечисленного, настоящая работа направлена на исследования по формированию градиентного переходного слоя из меди и никелевого сплава Ni80Cr20 методом аддитивной электронно-лучевой проволочной технологии.

Образцы первого типа получали методом электронно-лучевой аддитивной технологии путем расплавления электронным лучом филамента никелевого сплава Ni80Cr20 и его нанесения на медную подложку с образованием градиентного перехода между нанесенным никелевым сплавом и медью за счет оплавления меди лучом (при использовании развертки пучка в форме эллипса). Образцы второго типа получали на стальной подложке, изначально нанося до 5 слоев чистой меди, а в дальнейшем до 10 градиентных слоёв с постепенным увеличением содержания никелевого сплава от второго податчика. Ближе к поверхности образцов наносились слои чисто никелевого филамента. Полученные образцы исследовали методом оптической микроскопии на приборе Olympus LEXT 4100. Исследование механических свойств осуществляли на образцах, вырезанных поперечно направлению продольного перемещения экспериментальных образцов при печати для испытаний на растяжение. В образцах второго типа дополнительно исследовали механические свойства в испытаниях на растяжение вдоль и поперек направления печати. Механические испытания на растяжение проводили при скорости 3 мм/мин на универсальной испытательной машине УТС 110М. Длина рабочей части образцов составляла 12 мм, ширина 2,7 мм и толщина 2,4 мм.

Проведенные исследования организации структуры на макроуровне показывают, что в структуре образцов первого типа после печати четко выделяются различия в строении каждого из нанесенных слоёв с постепенным увеличением объемной доли никелевого сплава и снижением доли меди, замешанной в градиентный слой за счет оплавления подложки. За счет оплавления подложки её структура претерпевает значительные изменения на небольшую глубину с образованием смеси никелевого сплава и меди, а также с формированием твердых растворов в соответствии с диаграммой состояния Cu-Ni.

В структуре образцов второго типа за счет печати градиентной медно-никелевой структуры на стальной подложке происходит формирование двух типов градиента: градиентная структура от стали - к меди и от меди - к никелевому сплаву. В образцах второго типа в зоне градиента от стали 321 к чистой меди формируется достаточно неоднородная и сложноорганизованная структура. В градиентной медно-никелевой зоне неоднородность структуры также достаточно велика. Присутствуют как крупные никелевые фрагменты, так и чередование участков с различным соотношением меди и никеля.

Механические испытания образцов первого типа поперек направления печати показывают достаточно высокие значения временного сопротивления градиентного слоя от 505 до 516 МПа, в среднем - 510 МПа. Пластичность образцов колеблется от 11 до 17%, в среднем составляет 15%. Предел текучести зоны структурного градиента составляет 341-352 МПа, в среднем - 347 МПа. Для образцов второго типа с более сложной структурой характерны в целом меньшие механические свойства в испытаниях на растяжение. Для образцов, вырезанных вдоль направления печати в среднем характерны большие значения как предела прочности (422 МПа), предела текучести (310 МПа) и пластичности (14%). В поперечном направлении предел прочности составляет в среднем 377 МПа, предел текучести 262 МПа, а пластичность - 7%. Такое положение обусловлено, прежде всего, наличием трещин, расположенных, преимущественно, вдоль образца, что существенно снижает прочность образцов в поперечном направлении и менее заметно - в продольном. Часть образцов, вырезанных в поперечном направлении в процессе деформации разрушались с явным влиянием на процесс дефектов в структуре.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН.

Список литературы:

1. Ghanavati R., Naffakh-Moosavy H. Additive manufacturing of functionally graded metallic materials: A review of experimental and numerical studies // Journal of Materials Research and Technology. – 2021. – Т. 13. – С. 1628-1664.

КОРРОЗИОННЫЙ ПРИВЕС И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МНОГОСЛОЙНЫХ CrN/Cr ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВЕ Э110 ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОКИСЛЕНИИ НА ВОЗДУХЕ

А.В. Пирожков, студент гр. 0БМ01,

С.Е. Ручкин, студент гр. 0ДМ01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30,

E-mail: alpir11260@gmail.com

В области безопасности атомной энергетики существует проблема высокотемпературного окисления циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) в условиях аварийных ситуаций с потерей теплоносителя типа ЛОСА [1]. Одним из возможных решений данной проблемы является нанесение хромовых покрытий на циркониевые оболочки ТВЭЛов. Выбор хрома обусловлен рядом преимуществ, по сравнению с другими материалами, а именно: относительно малое сечение захвата тепловых нейтронов, хорошая коррозионная и радиационная стойкость, износостойкость и адгезионная прочность, низкая водопроницаемость [2]. Особые требования предъявляются к стойкости материалов к высокотемпературному окислению и растрескиванию под действием механических воздействий и микронапряжений, создаваемых в покрытии за счёт разницы коэффициентов температурного расширения материала покрытия и циркониевого сплава. Однако, несмотря на ранее приведенные преимущества, при высоких температурах значительно возрастает взаимная диффузия хрома и циркония. Это приводит к усилению диффузии кислорода в Zr и образованию эвтектической фазы Cr₂Zr ($T_{\text{плавления}}=1330$ °C), что может привести к охрупчиванию ТВЭЛа. Одним из возможных способов подавления взаимной диффузии является использование барьерных подслоёв между защитным хромовым покрытием и циркониевым сплавом. Цель настоящей работы - исследование коррозионной стойкости и структурно-фазового состояния многослойных покрытий, состоящих из чередующихся слоёв CrN/Cr, осаждённых на циркониевый сплав Э110 при высокотемпературном окислении на воздухе.

В ходе эксперимента были подготовлены образцы циркониевого сплава Э110 с однослойным Cr и многослойными CrN/Cr покрытиями различной толщины слоёв. Осаждение покрытий осуществлялось с помощью ионно-плазменной установки, разработанной в Томском политехническом университете. Параметры нанесённых покрытий представлены в таблице 1. После нанесения покрытий образцы подвергались изотермическому окислению при 1100 °C в течение 10-40 мин. Изменение фазового состава исследовалось методом рентгеновской дифракции с помощью Shimadzu XRD-7000S с использованием CuK_α излучения при 40 кВ и 30 мА.

Таблица 1. Параметры многослойных покрытий

Название образца	Количество слоёв, шт.	Толщина слоя, нм
CrN/Cr-50	40	50
CrN/Cr-250	8	250
CrN/Cr-500	4	500

Для образцов, подвергшихся высокотемпературному окислению, была проведена оценка их коррозионного привеса. По полученным результатам было выявлено, что образец без покрытия имеет наибольший привес не зависимо от времени окисления, который составляет ~24 мг/см² при 10 мин окисления и возрастает до ~80 мг/см² при 40 мин тесте. Образцы с многослойными покрытиями имеют привес в несколько раз меньший, чем образец без покрытия. Схожая кинетика окисления наблюдается для всех образцов вплоть до 30 мин

окисления. После этого, образец с однослойным Cr покрытием имеет резкий рост коррозионного привеса. Среди многослойных покрытий наименьший прирост коррозионного привеса имел образец с покрытием CrN/Cr-250, что видно на рис. 1.

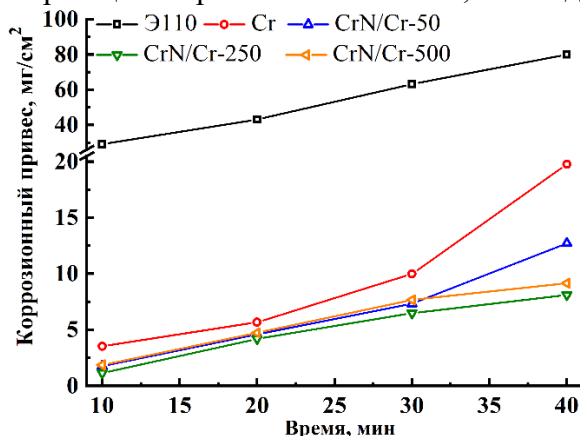


Рис.1. Коррозионный привес в зависимости от времени окисления.

Качественный анализ фазового состава не показал кардинальных различий между однослойным и многослойными покрытиями. В образцах присутствуют фазы: Zr_3O_5 , Cr_2O_3 , ZrN , Cr_2N , CrN , а также ZrO_2 в моноклинной и тетрагональной модификациях. Изменение фазового состава в зависимости от температуры представлено на рис. 2. Изначально в образце присутствует фаза α -Zr, а при достижении температуры 1200 °С происходит образование фаз Cr_2N , ZrN , β -Zr. При достижении температуры 1400 °С образуется фаза Cr_2Zr , что продемонстрировано на рис. 2.

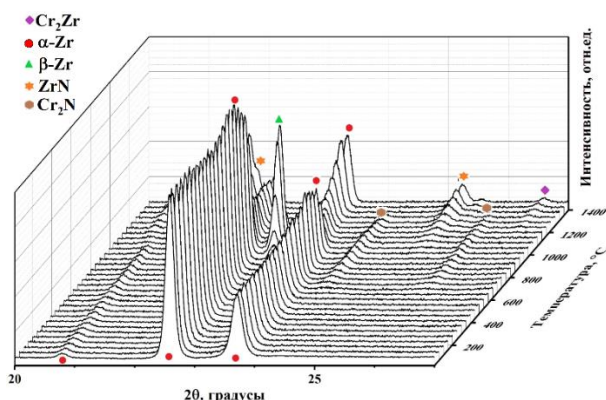


Рис.2. Изменения фазового состава образца с покрытием CrN/Cr -250 при нагреве в диапазоне температур 25-1400 °С.

В результате исследований покрытий в условиях атмосферного окисления при температуре 1100 °С продемонстрировано, что многослойные покрытия обеспечивают лучшую защиту циркониевого сплава. Однако, эффект является краткосрочным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Госкорпорации «Росатом» в рамках научного проекта 20-21-00037.

Список литературы:

1. Cheng T., Keiser J.R., Brady M.P., Terrani K.A., Pint B.A. Oxidation of fuel cladding candidate materials in steam environments at high temperature and pressure // Journal of Nuclear Materials. – 2012. – V. 427, No. 1-3. – P. 396-400.
2. Brachet J.C., Rouesne E., Ribis J.T., Guilbert S., Urvoy G. High temperature steam oxidation of chromium-coated zirconium - based alloys: Kinetics and process // Corrosion Science – 2020. – V. 167. – P. 108537.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОПАНТОВ

*Е.А. Платошина, Д.Д. Захарова
Томский Политехнический Университет, г.Томск*

Одним из самых распространенных и эффективных методов нефтедобычи является гидроразрыв пласта (ГРП). Он применяется с целью увеличения приемистости нагнетательных скважин: расширения трещин в породе и создания новых для обеспечения притока добываемой нефти к забою скважины. Процесс проводят путем введения в пласт жидкости разрыва со специальным расклинивающим агентом под давлением около 100 МПа. В процессе подачи смеси формируются высокопроводящие каналы. Расклинивающими агентами, являются пропанты (рис.1), основной задачей которых является удержание трещин в раскрытом состоянии после снятия давления.



Рисунок 1 — Пропанты производства компании ФОРЭС

Пропанты представляют собой прочные сферические гранулы, с типичным диаметром от 0,5 до 1,2 мм. В качестве пропантов используются различные органические и неорганические материалы, среди которых наиболее применяемыми являются природный песок с полимерным покрытием, а также керамические пропанты на основе бокситов и природных глинистых минералов.

На момент 2021 года, используемые в операции ГРП пропанты можно условно разделить на 5 видов, характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства пропантов различных видов

Вид пропантов	Насыпная плотность, г/см ³	Истинная плотность, г/см ³	Давление на сжатие не более МПа	Сферичность	Растворимость в кислотах, %
Кварцевый песок	~1,4	2,7	28	<0,7	-
Алюмосиликатные пропанты на основе боксита	1,85-2,00	3,56	100	0,9	3,5
Алюмосиликатные пропанты на основе смеси каолина и боксита	1,57-1,85	2,7-3,3	85	0,9	4,5
Алюмосиликатные пропанты на основе каолина	1,57	2,7	52-70	0,9	1,7
Магнезиально-силикатные пропанты	1,55	2,7	52-70	0,9	7,8
Керамические пропанты с	1,63-1,68	2,89-2,94	100	0,9	0,9-2,5

полимерным покрытием					
-------------------------	--	--	--	--	--

Основные требования к функциональным свойствам керамических пропантов обусловлены условиями их эксплуатации, исходя из которых они должны обладать высокой прочностью, химической стойкостью и невысокой насыпной плотностью в гранулированном состоянии. Каждый вид пропантов имеет свои преимущества и недостатки по ряду данных характеристик. Основными проблемами является дороговизна сырья и высокая плотность керамических пропантов, низкая механическая прочность и проницаемость кварцевого песка. В связи с этим, активно ведется разработка и внедрение пропантов с улучшенными характеристиками.

Большинство перспективных месторождений нефти по глубине залегания и пластовому давлению требуют использования керамических пропантов. Это наиболее доступный материал для закрепления трещин ГРП, выпуск которого ведется в промышленных масштабах. Все новинки пропантов пока не перешагнули порога лаборатории.

Список литературы:

1. Инструкция по технологии глубокопроникающего гидравлического пласта. Москва, 1998 г. РМНТК «Нефтеотдача».
2. Керамические пропанты на основе природного алюмосиликатного сырья. Решетова А.А. Диссертация. Томск, 2009.
3. Анализ критериев выбора пропантов. Мигаль В.И., Скурухин В.И. Нефтегазовая вертикаль, 2008 - №8.
4. Керамические пропанты из сырья Казахстана для нефтегазодобывающей промышленности – Ceramic proppants from raw materials of Kazakhstan for oil and gas industry / А. А. Бирюкова // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук научный журнал: / Национальная Академия наук Республики Казахстан . — 2017 . — № 4 (424).
5. Aluminosilicate ceramic proppants based on natural refractory raw materials / T. V. Vakalova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering . — 2018 . — Modern Technologies and Materials of New Generations.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeNiMn**

А.А. Руктуев, к.т.н., с.н.с.,

Р.И. Кузьмин, аспирант

Н.А. Киселева, студент гр. МАГ-621

Новосибирский государственный технический университет, 634073, г. Новосибирск, пр. К.

Маркса, 20,

тел. (383)-346-06-12

E-mail: ruktuev@corp.nstu.ru

В настоящее время большое количество исследований в области материаловедения посвящено высокоэнтропийным сплавам. Данная группа материалов рассматривается как перспективная для работы в различных условиях, в частности при повышенных температурах [1, 2]. Предполагается, что высокие свойства данных сплавов при высоких температурах могут обеспечиваться замедлением диффузионных процессов, обусловленным значительными искажениями кристаллической решетки многокомпонентных сплавов.

Отмеченные особенности позволяют рассматривать такие сплавы как защитные жаростойкие покрытия [3]. В данной работе представлены результаты исследования окисления наплавленных слоев системы CoCrFeMnNi, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки на поверхности заготовок из стали 20.

Исследуемые образцы были получены в процессе наплавки порошковой смеси, состоящей из технически чистых порошков Co, Cr, Mn, Ni и CaF₂. Порошок CaF₂ применялся в качестве флюса, для защиты ванны расплава от окислительного воздействия атмосферы. Варьирование технологических режимов наплавки позволило получить наплавленные слои с составами близкими к эквиатомным, а также с избытком железа (таблица 1) [4].

Таблица 1. Элементный состав покрытий, полученных при разных технологических режимах.

Образец	Co, ат. %	Cr, ат. %	Fe, ат. %	Mn, ат. %	Ni, ат. %
1	19	20	24	19	18
2	18	19	29	18	17
3	14	15	43	14	14

Образцы для испытаний на окисление имели размеры 10x10x1 мм³ и были получены из наплавленных слоев методом электроэрозионной резки. Перед проведением испытаний образцы очищались от загрязнений и шлифовались на абразивной бумаге с постепенным уменьшением зернистости до 800 grit, промывались в ацетоне и высушивались. Взвешивание образцов проводилось в корундовых тиглях с точностью 0,001 г. В качестве образца сравнения использовался материал основы – сталь 20.

Испытания на окисление проводились в лабораторной печи при температуре 850 °С. Выдержка образцов между взвешиваниями составляла 5 часов. Общее время испытаний составило 45 часов. Взвешивание образцов проводилось после охлаждения на воздухе.

Для оценки стойкости к окислению был использован весовой метод:

$$K = \Delta m / (S \cdot t),$$

Где K – скорость окисления,

Δm – изменение массы образца за время испытаний, мг,

S – площадь поверхности образца, см²,

t – время испытаний, ч.

График прироста массы исследуемых образцов представлен на рисунке 1. Установлено, что средняя скорость окисления образца из материала основы составила 0,91 мг/(см²*ч). Скорость окисления образцов из высокоэнтропийных сплавов составила 0,09 мг/(см²*ч), 0,05 мг/(см²*ч) и 0,11 мг/(см²*ч).

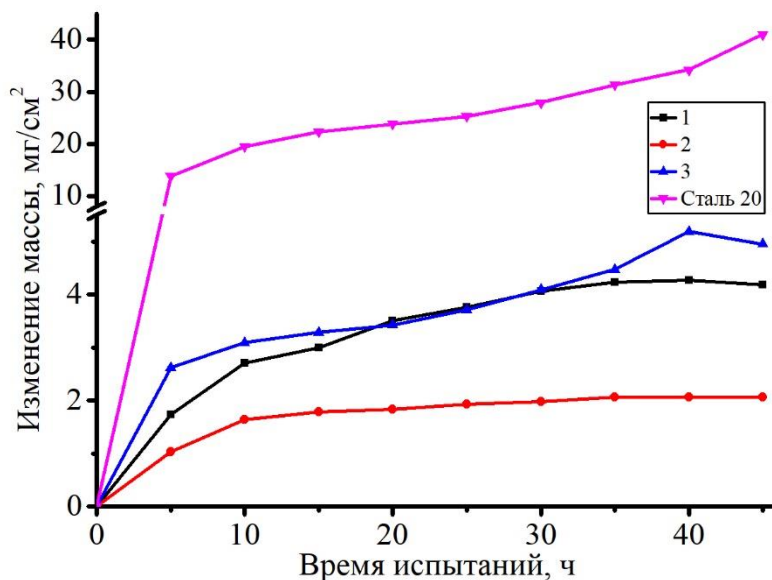


Рис. 1. График изменения массы образцов

Методом микрорентгеноспектрального энергодисперсионного анализа поверхности образцов после испытаний установлено, что в образцах 1 и 2 в составе окисленных слоев наблюдается повышенное содержание Mn и Co, в локальных областях велика доля железа. На поверхности образца 3, с избытком железа относительно эквивалентного состава, преимущественно обнаруживается железо, а также марганец и кобальт в меньших концентрациях. Данный результат хорошо согласуется с литературными данными, в которых отмечается, что в данной системе преимущественно должны образовываться оксиды марганца Mn₂O₃ и Mn₃O₄.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Грант Президента МК-2226.2020.8, соглашение № 075-15-2020-110).

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов" НГТУ.

Список литературы:

1. He J. Y., Zhu C., Zhou D. Q., Liu W. H., Nieh T. G., Lu Z. P. Steady state flow of the FeCoNiCrMn high entropy alloy at elevated temperatures // *Intermetallics*. – 2014. – Т. 55. – С. 9-14.
2. Tsai K. Y., Tsai M. H., Yeh J. W. Sluggish diffusion in Co–Cr–Fe–Mn–Ni high-entropy alloys // *Acta Materialia*. – 2013. – Т. 61, № 13. – С. 4887-4897.
3. Senkov O. N., Senkova S. V., Dimiduk D. M., Woodward C., Miracle D. B. Oxidation behavior of a refractory NbCrMo0.5Ta0.5TiZr alloy // *Journal of Materials Science*. – 2012. – Т. 47, № 18. – С. 6522-6534.
4. Киселева, Н. А., И. Ю. Петров, А. А. Руктуев Формирование наплавленных слоев высокоэнтропийного сплава состава CoCrFeNiMn на поверхности конструкционной стали // *Современные проблемы машиностроения : Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, Томск, 26–30 октября 2020 года*. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 167-168.

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ С DLC-ПОКРЫТИЕМ В ВИДЕ СОСУДИСТЫХ ПЛАСТЫРЕЙ: ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А.А. Рунц, студент гр. 0ДМ01, м.н.с. лаб. ЛИОР ТУСУР

Ю.Н. Юрьев, к.т.н., зав. лаб. НОЦ Б.П. Вейнберга

Е.Н. Большасов, к.т.н, науч. сотр.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

тел. (38220) -701777 (доп. 2595)

E-mail: aar74@tpu.ru

В данном исследовании представлены результаты изготовления сегнетоэлектрических мембран, перспективных в виде сосудистых пластырей с модифицированной поверхностью. Для модификации поверхности мембраны, контактирующей с кровью, DLC-покрытие наносилось методом импульсного вакуумно-дугового напыления.

Мембраны были приготовлены из 6 мас.% раствора сополимера ВДФ-ТеФЭ (ВДФ-ТеФЭ, Галополимер, Россия) в ацетоне. Изготовление мембран проводили методом электроспиннинга на алюминиевом цилиндрическом коллекторе длиной 200 мм и диаметром 100 мм. Расстояние между инжектором (игла 24G) и сборочным коллектором составляло 90 мм. Напряжение на форсунке 25 кВт. Скорость потока прядильного раствора составляла 4 мл / час, а скорость сборки составляла 200 об / мин.

При нанесении покрытия применялись следующие параметры: напряжение поджига 400 В, частота следования импульсов 3 Гц, 3000 импульсов на образец, минимальное расстояние от мишени до мембраны 250 мм. Были сформированы четыре группы образцов в зависимости от напряжения накопителя конденсатора (150 В, 200 В, 250 В, 300 В) не модифицированные образцы использовали в качестве контрольной группы.

Осаждение покрытия привело к изменению цвета лицевой стороны с коричневатого (150 В) на черный (300 В) (рис. 1). При этом макродефектов в виде прожогов и оплавлений не наблюдалось. Цвет образцов был однородным. Цвет обратной стороны образца не изменился при всех параметрах осаждения покрытия. Таким образом, возможна односторонняя модификация мембраны.

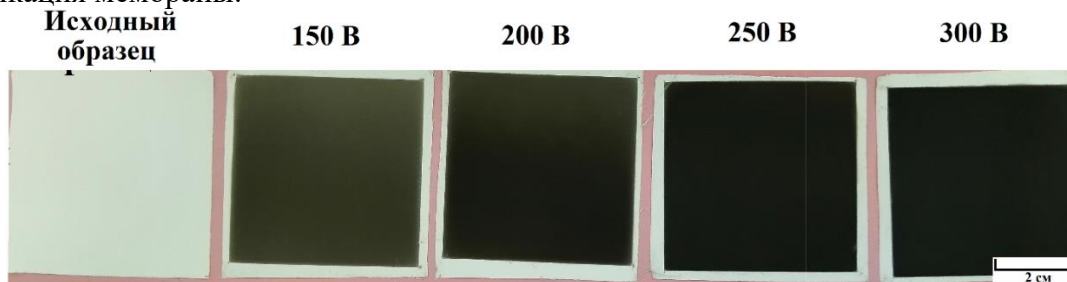


Рис. 1. Фотографии передней и задней сторон мембран после нанесения DLC-покрытия при разных напряжениях накопителя.

Для анализа морфологии поверхности мембран использовался метод сканирующей электронной микроскопии. СЭМ-изображения мембран до и после нанесения DLC-покрытия представлены на рисунке 2.

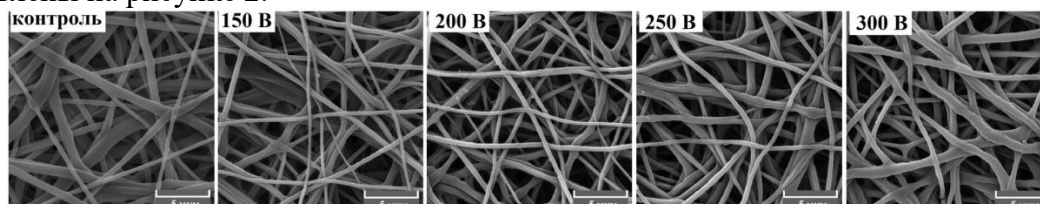


Рис. 2. СЭМ-изображения модифицированной поверхности мембраны.

Из представленных СЭМ-изображений видно, что модификация полимерных мембран DLC-покрытием не привело к изменению структуры мембран. Волокна являются устойчивыми, дефектов волокна не наблюдалось. Средний диаметр исходного образца составляет $0,61 \pm 0,21$ мкм. При увеличении напряжения накопителя конденсатора в ходе осаждения DLC-покрытия, средний диаметр незначительно увеличивается, при 300 В средний диаметр волокна составляет $0,67 \pm 0,19$ мкм. Увеличение среднего диаметра волокон с ростом напряжения связано с тем, что при увеличении напряжения большая энергия разряжается в катодном пятне, в результате чего на поверхности волокна конденсируются большее количество частиц с большей энергией.

Далее для более детального рассмотрения структуры волокна был применён метод атомно силовой микроскопии (АСМ). АСМ-изображения модифицированных мембран представлены на рисунке 3.

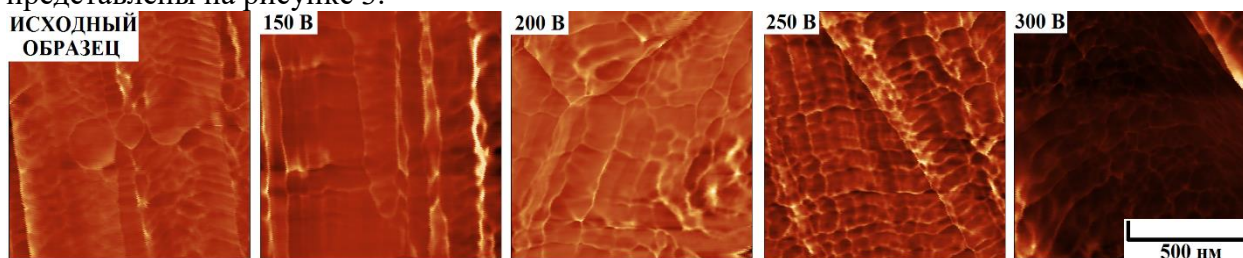


Рис. 3. АСМ- изображения модифицированной поверхности мембраны.

Микродефектов волокна не наблюдалось. При большем увеличении можно наблюдать, что микро рельеф волокон исходного образца представлен полостями, направленными вдоль волокна, и подъемами, равномерно распределенными по поверхности волокна. При нанесении DLC-покрытия, рельеф поверхности волокна представляет собой зернистую структуру из кластеров конденсированного углерода

Повышение напряжения накопителя конденсатора привело к изменению рельефа поверхности волокон. При напряжении 150 В на гладкой поверхности волокон наблюдался ряд полостей. При дальнейшем увеличении напряжения рельеф волокон мембраны состоит из равномерных кластеров сложной формы. Средняя площадь кластеров с ростом напряжения уменьшается, с $(1,8 \pm 0,4) \cdot 10^{-2}$ мкм² при 200 В, до $(4,3 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$ мкм² при 300 В. Образование кластеров на поверхности связано с ростом пленки углерода. Неоднородность структуры можно объяснить внутренними напряжениями между DLC-покрытием и поверхностью волокна. С увеличением напряжения, на поверхности конденсируются большее количество частиц с большей энергией, что и приводит к образованию кластеров с меньшей площадью.

Таким образом, представленные результаты демонстрируют максимальную скорость нанесения покрытия в диапазоне напряжений 250-300 В.

Результаты атомно-силовой микроскопии получены при содействии коллектива научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения №075-03-2020-237/1 от 5 марта 2020 г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Импульс» (регистрационный номер 200568).

Список литературы:

1. Cui, Z.; Drioli, E.; Lee, Y.M. Recent progress in fluoropolymers for membranes. *Prog. Polym. Sci.* 2014, 39, 164–198, doi:10.1016/j.progpolymsci.2013.07.008.
2. Robertson, J. Diamond-like amorphous carbon. *Mater. Sci. Eng. R Reports* 2002, 37, 129–281, doi:10.1016/S0927-796X(02)00005-0.
3. Беляев В.С. Алмазоподобные покрытия // н.-т. ж. Нефть. Газ. Новации. – 2010 г. – №.6, с. 74-76.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СПЛАВА Э110 С ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

*С.Е. Ручкин, магистрант гр.0ДМ01,
А.В. Пирожков, магистрант гр. 0БМ01,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30,
тел.(3822)-701-777 доб. 5413
E-mail: ruchkin70@gmail.com*

В настоящее время активно ведутся разработки толерантного топлива, необходимого для повышения безопасности работы ядерных энергетических реакторов с водой под давлением [1]. Краткосрочная стратегия разработки такого топлива состоит в нанесении защитных покрытий на циркониевые оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). В качестве защитного покрытия можно использовать хромовое покрытие, полученное методом магнетронного распыления [2]. ТВЭЛ состоит из Zr оболочки в виде трубы с двумя концевыми заглушками. Внутри оболочки находится топливо на основе урана. Для присоединения концевых заглушек к оболочечной трубе и обеспечения герметичности ТВЭЛа применяется сварка. Поэтому особое внимание при разработке толерантного топлива стоит уделить стойкости к окислению сварных соединений Zr сплавов в условиях, имитирующих потерю теплоносителя в активной зоне ядерного реактора. Известно, что сварные соединения имеют более низкую стойкость к окислению ввиду изменения микроструктуры шва и его элементного состава. В настоящее время применяются специальные методы пост-обработки, например, вакуумный отжиг при температуре 570-580 °С для снижения числа дефектов структуры и восстановления механических свойств сварных соединений. Однако стойкость сварных соединений из циркониевых сплавов остаётся недостаточной при высоких температурах ввиду того, что слой оксида циркония, образующийся на поверхность ТВЭЛа не является защитным при температурах >600 °С. Поэтому дополнительные технологические приёмы должны быть применены для повышения коррозионной стойкости сварных соединений, в том числе нанесение защитных покрытий. Цель настоящей работы состоит в определении влияния осаждения Cr покрытия на стойкость к окислению соединений контактной стыковой сварки, изготовленных из циркониевого сплава Э110.

Были подготовлены образцы сварных соединений без и с Cr (~10 мкм) покрытиями, исследовано их поведение при высокотемпературном окислении на воздухе (рис. 1). Хромовые покрытия были получены на вакуумной ионно-плазменной установке, процесс напыления выполнялся с использованием мультикаатодной магнетронной распылительной системы (плотность мощности – 39 Вт/см²) в среде Ar (22 см³/мин) в течение 192 мин.

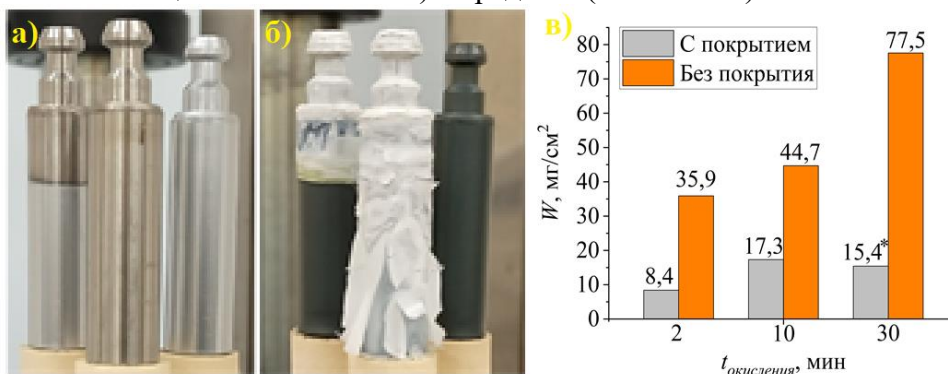


Рис. 1. Фотографии образцов (а) до и (б) после окисления при температуре 1100 °С на воздухе: образец слева – с частичным напылением; центральный образец – без покрытия; образец справа – с покрытием на всей внешней поверхности образца. Удельный привес образцов после окисления на воздухе (в).

Было выполнено окисление образцов на воздухе при температуре 1100 °С с изотермической выдержкой 2, 10 и 30 минут. До и после окисления проводились гравиметрические измерения образцов на аналитических весах с точностью 10^{-4} г. На рис. 1, в показан удельный привес (W) образцов после окисления. Наибольший привес наблюдается в случае образца, не имеющегося защитного покрытия. С увеличением длительности изотермической выдержки привес образцов заметно повышается. Образец с Cr покрытием имеет меньший привес после 30 мин ($15,4 \text{ мг/см}^2$) чем после 10 мин ($17,3 \text{ мг/см}^2$). Такой результат может быть вызван отслаиванием плёнки оксида циркония с внутренней (незащищённой) области образца в процессе проведения теста на окисление. Тем не менее полученные результаты показывают снижение окисления в 2-5 раз при нанесении защитного покрытия на внешнюю поверхность контактных стыковых соединений из циркониевого сплава Э110.

Образец с Cr покрытием имеет защищённую поверхность, она формируется за счёт образования плотного Cr_2O_3 слоя, который замедляет проникновение кислорода и азот в циркониевый сплав. Исключение составляет область грата сварного шва, где было обнаружено локальное окисление образца, как показано на рис. 2. По всей видимости при контактной стыковой сварке происходит выдавливание излишка расплавленного металла на поверхность оболочки. При охлаждении места сварки приводит к формированию неоднородной морфологии поверхности, шероховатость которой недопустимо большая для осаждения защитных покрытий микронных толщин с применением метода магнетронного распыления.

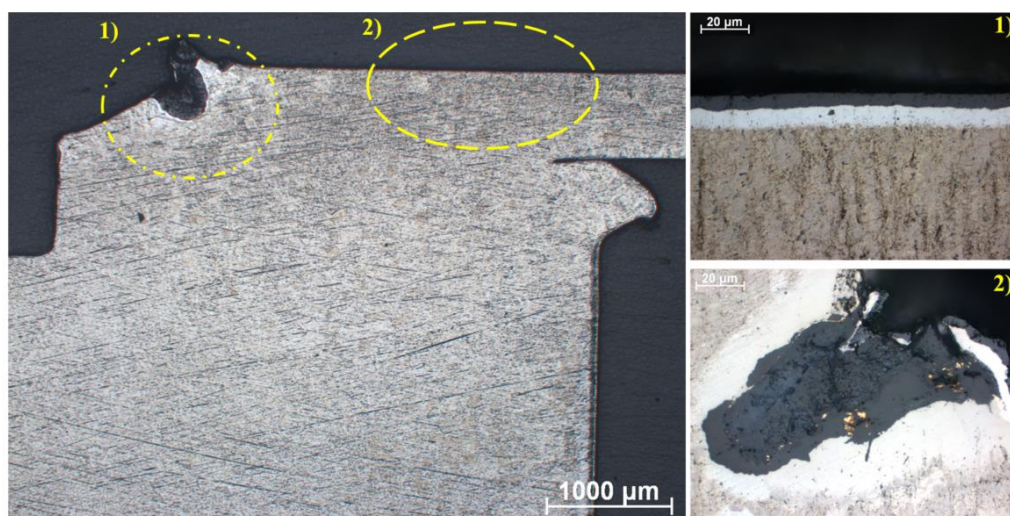


Рис. 2. Микроструктура образца с Cr покрытием: 1 – защищённая область; 2 - незащищённая область в области грата сварного соединения.

Результаты, полученные в рамках данной работы, указывают на необходимость нанесения защитных покрытий на всю внешнюю поверхность ТВЭЛа, а не только на оболочечную трубу. Они могут быть использованы для разработки технологии вакуумного осаждения защитных покрытий на циркониевые оболочки ТВЭЛов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 19-79-10116.

Список литературы:

1. Tang, C.; Stueber, M.; Seifert, H.J.; Steinbrueck, M. Protective coatings on zirconium-based alloys as accident-tolerant fuel (ATF) claddings. Corros. Rev. 2017, 35, 141–165
2. Brachet, J.C.; Rouesne, E.; Guilbert, et all. High temperature steam oxidation of chromium-coated zirconium-based alloys: kinetics and process. Corros. Sci., 2020, 167, 108537.

ЗАЩИТНЫЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ ZrO_2/Cr ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110

*С.Е. Ручкин, магистрант гр.0ДМ01,
А.В. Пирожков, магистрант гр. 0БМ01,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30,
тел.(3822)-701-777 доб. 5413
E-mail: ruchkin70@gmail.com*

Циркониевые оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) ядерных реакторов водо-водяного типа не обладают стойкостью к окислению при высоких температурах (~600 °С и выше). Модификация их поверхности с помощью напыления защитного хромового покрытия методом магнетронного распыления позволяет существенно повысить их защитные параметры при нормальных и аварийных условиях работы реактора [1]. Однако хром имеет достаточно большой коэффициент диффузии в Zr сплавах при высоких температурах, особенно в β -фазе циркония, что является основной проблемой Cr покрытия при высокотемпературном окислении. Для решения данной проблемы предлагается применить многослойное покрытие на основе периодической структуры ZrO_2/Cr , выполняющей роль диффузионного барьера на границе раздела фаз «защитное покрытие-циркониевый сплав». Поэтому цель настоящей работы – определить роль барьерного слоя ZrO_2/Cr на защитные свойства циркониевого сплава Э110 при высокотемпературном окислении на воздухе.

С помощью ионно-плазменной вакуумной установки было получено две серии покрытий ZrO_2/Cr с шагом периодической структуры 50 и 250 нм. Схема и параметры установки для напыления детально описаны в нашей предыдущей работе [2]. Многослойные покрытия ZrO_2/Cr -50 представляли собой 40 последовательных слоёв ZrO_2 и Cr с толщиной каждого слоя 50 нм, а в качестве защитного верхнего слоя выступал слой хрома, толщиной 1 мкм. Напыление ZrO_2 выполнялось с помощью дуальной магнетронной распылительной системы (мощность - 2 кВт) при соотношении потоков Ar/O₂ как 30/45 см³/мин. Осаждение многослойного покрытия ZrO_2/Cr -250 выполнялось аналогичным образом. В этом случае покрытие представляло собой 8 последовательных слоёв ZrO_2 и Cr с толщиной каждого слоя 250 нм. Для сравнения защитных свойств ZrO_2/Cr покрытий было выполнено их окисление на воздухе при температуре 1100 °С с изотермической выдержкой от 10 до 40 минут. Данные об окислении сплава без покрытия и с однослойным хромовым покрытием были взяты из прошлой работы [2]. До и после окисления проводились гравиметрические измерения образцов на аналитических весах с точностью 10⁻⁴ г.

На рис. 1 показан удельный привес (W) образцов после окисления на воздухе. Видно, что покрытия значительно повышают стойкость сплава Э110 к окислению. Первоначально (10 мин) образец с однослойным Cr покрытием окисляется сильнее ввиду формирования на его поверхности оксидной плёнки (Cr₂O₃) большей толщины. При окислении в течение 20 минут все образцы имеют схожие значения привеса. Однако при дальнейшем увеличении изотермической выдержки (30 и 40 мин) наблюдалось увеличение привеса образца с Cr покрытием по отношению к образцам с ZrO_2/Cr покрытиями. Это указывает на его ускоренное окисление. Такое поведение образцов может быть обусловлено подавлением взаимной диффузии хрома и циркония на границе раздела фаз «покрытие-подложка» за счёт применения многослойной структуры на основе слоёв ZrO_2 и Cr.

В таблице 1 представлен внешний вид образцов до и после окисления. Образцы изменили цвет после испытаний. Наиболее выраженный эффект наблюдается для сплава Э110 без покрытия, он имеет белую поверхность, что указывает на образование ZrO_2 . Все образцы с покрытиями имеют тёмно-зелёный цвет после окисления, указывающий на формирование оксида хрома на их поверхности. Однослойное хромовое покрытие

выдерживает окисление на воздухе без повреждения покрытия до 30 мин, при большей длительности однородность поверхности нарушается.

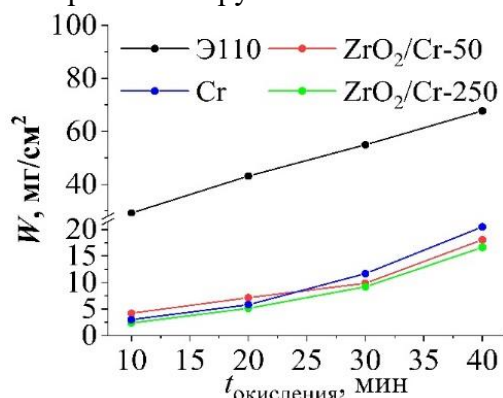


Рис. 1. Удельный привес образцов: Э110 – сплав без покрытия; Э110/Cr – сплав с однослойным Cr покрытием; ZrO₂/Cr-50, ZrO₂/Cr-250 – сплав с покрытиями с чередующимися слоями 50 и 250 нм.

Образцы с многослойными покрытиями ведут себя иначе. После 20 мин окисления на образце ZrO₂/Cr-50 появляются трещины, а при более длительном окислении - отслаивание покрытия и окисление сплава Э110. Покрытие ZrO₂/Cr-250 оказалось более стойким, отслаивание покрытия наблюдается только после 30 мин окисления.

Таблица 1. Внешний вид образцов до и после окисления.

	До окисления	После окисления			
		10 мин	20 мин	30 мин	40 мин
Э110 без покрытия					
Cr					
ZrO ₂ /Cr-50					
ZrO ₂ /Cr-250					

Полученные в настоящей работе результаты демонстрируют высокую эффективность применения многослойных ZrO₂/Cr покрытий для повышения стойкости к окислению сплава Э110 при высоких температурах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Госкорпорации «Росатом» в рамках научного проекта № 20-21-00037.

Список литературы:

1. Kashkarov E.B., Sidelev D.V., Syrtanov M.S., Tang C., Steinbrück M. Oxidation kinetics of Cr-coated zirconium alloy: Effect of coating thickness and microstructure // Corrosion Science. – 2020. – vol. 175. – article number 108883.
2. Ручкин С.Е., Пирожков А.В., Сиделёв Д.В. Защитное многослойное покрытие CrN/Cr для циркониевых сплавов // Сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – 2021. – С. 295–297.

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СМЕЩЕНИЯ НА СВОЙСТВА
СТАЛИ 40X13 ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ В
ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ**

*Д.В. Сиделёв, к.т.н., доц.,
Е.Д. Воронина, студент гр.0А8Б
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,
E-mail: edv2@tpu.ru*

Методы химико-термической обработки материалов позволяют получать модифицированный поверхностный слой с улучшенными функциональными и механическими характеристиками. Среди таких методов выделяют цементацию, цианирование и азотирование, последнее является наиболее распространенным и эффективным инструментом для модификации поверхности изделий. Особое внимание уделяется процессу ионно-плазменного азотирования в связи с его высокой производительностью, повторяемостью и стабильностью получаемых характеристик модифицированной поверхности [1]. Однако остаётся нерешённой проблема изменения морфологии поверхности обрабатываемых материалов, что играет ключевую роль при применении изделий после азотирования в качестве деталей машин (болтов, пружин, зубчатых колес), в особенности, для режущего инструмента [2]. Настоящая работа посвящена анализу влияния электрического потенциала смещения на свойства стали 40x13 при ионно-плазменном азотировании в высокочастотном (ВЧ) разряде.

В качестве исходного материала была выбрана аустенитная сталь 40x13 как одна из наиболее используемых марок сталей для азотирования. Процесс проводился на установке ионно-плазменной обработки поверхности изделий, разработанной в НОЦ Б.П. Вейнберга Томского политехнического университета.

Исследование влияния электрического потенциала смещения подложки в процессе ионно-плазменного азотирования проводили при постоянном рабочем давлении 0,8 Па и температуре азотирования 470 °С. Модифицированный слой на образцах формировали изотермически в течение 30 мин при потенциалах смещения -20, -40, -60 и -80 В. Рабочая газовая смесь содержала Ar, N₂ и H₂ в соотношении как 4:2:1.

Исследование кристаллической структуры азотированных образцов методом рентгеновской дифракции показало наличие твердых растворов на базе нитрида железа (ϵ -Fe₂₋₃N, γ' -Fe₄N) и твёрдых растворов α_N и γ_N -Fe с азотом во всех образцах после азотирования. Начиная с потенциала смещения -40 В и при большей величине, в образцах обнаружено выпадение осадка нитрида хрома. Анализ толщины диффузионного слоя показал, что он увеличивается при росте величины потенциала смещения и достигает максимума при смещении -60 В. Повышение электрического потенциала смещения приводит к увеличению энергии бомбардирующих ионов и, соответственно, повышается число дефектов поверхности за счёт её распыления. Это, в свою очередь, вызывает повышение скорости диффузии азота [3]. С другой стороны, распыление азотируемой поверхности приводит к уменьшению толщины азотируемого слоя при повышении потенциала смещения до -80 В и далее.

Измерения микротвёрдости образцов по их поперечному сечению продемонстрировали, что она увеличилась в 7 раз (до ~1400 HV) по сравнению со сталью, не подвергавшейся азотированию (~200 HV). Причём толщина поверхностного слоя стали 40x13 с увеличенной микротвёрдостью после азотирования соответствовала глубине азотированного слоя, определённой с помощью оптической микроскопии.

Ключевой вопрос данной работы состоял в изменении шероховатости поверхности в результате ионно-плазменного азотирования в плазме высокочастотного разряда. Как видно

из рис. 1 параметры шероховатости (R_a и R_z) увеличились после процесса азотирования поверхности примерно на один порядок.

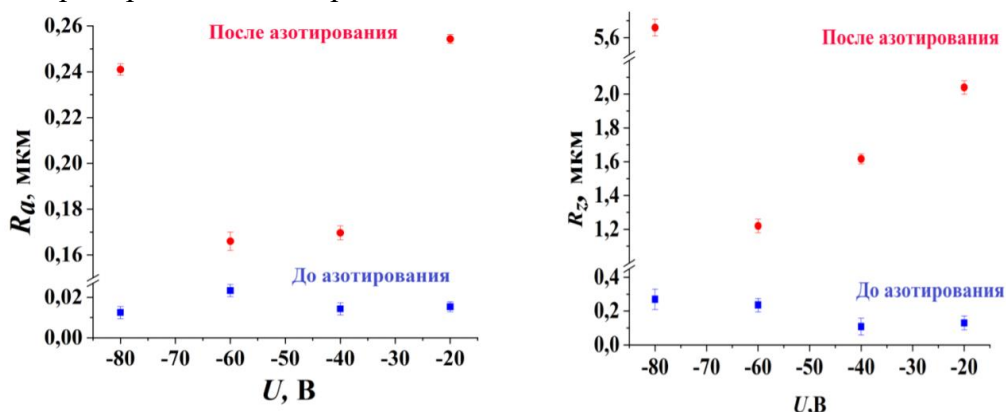


Рис. 1. Зависимость R_a (слева) и R_z (справа) от величины потенциала смещения после ВЧ азотирования.

Параметры R_a и R_z имеют нелинейную зависимость от потенциала смещения. Рост шероховатости связан как с распылением поверхности образцов ионами, ускорение которых регулируется потенциалом смещения, так и с формированием пористой структурой в результате азотирования.

Азотирование способствует увеличению износостойкости поверхности стали 40х13 (рис. 2) Наибольшая износостойкость была получена при потенциале смещения -80 В вследствие преобладания в кристаллической структуре твёрдых фаз α_N -Fe и γ_N -Fe, а также за счёт повышения количества фазы CrN в образцах.

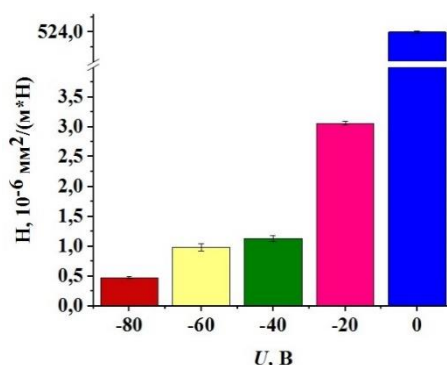


Рис. 2. Износ образцов при различных величинах потенциала смещения.

Таким образом, показано, что ионно-плазменное азотирование в высокочастотном разряде способствует улучшению износостойкости и микротвёрдости поверхности. Регулирование величины электрического потенциала смещения помогает минимизировать изменение морфологии поверхности.

Список литературы:

1. Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. М.: Техносфера, 2012 – 464 с.
2. Лукьянова В. О., Пичхидзе С. Я. Улучшение физико-механических свойств поверхности нержавеющей медицинской стали методом азотирования // Перспективные материалы. – 2018. – №. 1. – С. 60-65.
3. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов. – М.: Металлургия, 1973. – 208 с.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННЫХ КОМПОЗИТОВ Al-Sn

^{1,2}А.Л. Скоренцев, к.т.н., магистрант гр. 4АМ1Ф, н.с.,

²Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с.,

^{1,2}Е.Н. Коростелева, к.т.н., доц., с.н.с.

¹Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

²Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, г.Томск, пр.Академический,2/4, тел.(3822)-491-881

E-mail: skoralexan@tpu.ru

Алюминиевые сплавы склонны к схватыванию со стальным контртелом при фрикционном контакте, и с целью его устранения в алюминий вводят олово в больших количествах. Несущая способность сплавов при этом снижается, и для её восстановления сплавы легируют веществами, которые при кристаллизации или последующей термообработке способны выделиться в виде твёрдых включений [1]. Например, алюминий легируют железом или кремнием. При охлаждении расплава растворимость указанных элементов снижается, и они выпадают в виде твёрдых интерметаллических частиц Al_3Fe , или чистого кремния во втором случае. Указанные частицы выгодно отличаются тем, что практически не взаимодействуют с оловом, поэтому не могут повлиять на пластичность его включений в сплавах Al-Sn.

Поскольку компоненты указанных антифрикционных сплавов сильно отличаются по весу, то при кристаллизации расплава возникает проблема равномерного распределения фаз по объёму отливки. Порошковая металлургия позволяет избежать указанных проблем, поскольку на всём протяжении спекания в прессовке существует твёрдофазный каркас, который ограничивает перемещение жидких компонентов. **Целью настоящей работы** исследование эффективности добавок Si и Fe на износостойкость сплава Al-40Sn, полученного спеканием. Массовая концентрация добавок кремния составляла 9 и 12%, а железа – 7%. Спекание проводилось в вакууме при остаточном давлении атмосферных газов не более 10^{-2} Па. Испытания на износостойкость проводились по схеме «палец-диск» без смазки по стальному контртелу (Сталь 40X).

В результате спекания при 570 °С в эвтектических сплавах Al-Si-Sn и Al- Al_3Fe -Sn формируется кластерная структура (рис. 1). В первом случае кластеры образованы скоплениями частиц Si с прослойками Al между ними, а во втором случае кластеры состоят из частиц алюминидов, связанных прослойками Sn. Вследствие однотипности структуры сплавов и близкого объёмного содержания фаз, механические свойства образцов также оказались близкими (табл. 1).

Результаты триботехнических испытаний образцов при сухом трении по стальному диску приведены в табл. 2. Здесь же представлены полученные ранее данные по износостойкости в аналогичных условиях спечённого двухфазного сплава Al-40Sn [2].

Из полученных результатов следует, что при увеличении концентрации кремния с 9 до 12% масс. износостойкость спечённого сплава Al-Si-Sn при сухом трении по стали существенно растёт. Упрочнённый алюминидом железа сплав после спекания при 570 °С демонстрирует несколько худшую износостойкость, чем сплав с 12% кремния, хотя его коэффициент трения по стали ниже. Исключение составляют данные по износостойкости сплава Al-7Fe-38Sn при низком давлении. Так, при давлении 1 МПа он изнашивается в 3 раза меньше, чем сплавы с кремнием или базовый сплав Al-40Sn.

Если указанный сплав нагреть до температуры плавления алюминиевой матрицы, то частицы алюминидов укрупнятся, а размеры образуемых ими кластеров снизятся. В результате износостойкость сплава немного повышается и становится наилучшей среди исследуемых материалов. При этом эвтектические сплавы Al-Si спекать при температуре

выше 577 °С нельзя из-за большого количества образующейся жидкой фазы. Увеличение времени отжига сплавов с кремнием приводит к укрупнению частиц твёрдой фазы, однако положительного влияния на их износостойкость это не оказало. То есть, важен не только размер составляющих кластеры частиц, но и их состав. При укрупнении алюминидных частиц высвобождается олово и перераспределяется по границам алюминиевых зёрен. Тогда как при укрупнении частиц кремния утолщаются разделяющие их алюминиевые прослойки, и упрочняющий эффект частиц снижается.

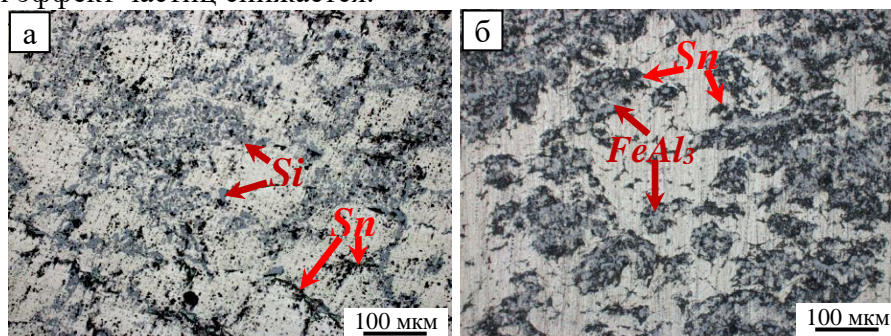


Рис. 1. Структура сечённых при 570 °С сплавов (Al-9Si)-40Sn (а) и Al-7Fe-38Sn (б).

Таблица 1. Механические свойства и пористость (η) спечённого и подвергнутого горячей допрессовке (ГД) сплава Al-40Sn, упрочнённого кремнием и железом.

Сплав	Режим получения	η , %	Механические свойства		
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
(Al-9Si)-40Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	83	117	18
(Al-12Si)-40Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	91	119	> 20
Al-7Fe-38Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	101	126	18

Таблица 2. Влияние температуры спекания ($T_{сп}$) и давления (P) на интенсивность изнашивания (I_h) и коэффициент трения (μ) сплавов. Скорость скольжения - 0,6 м/с.

Сплав	$T_{сп}$, °С	I_h , мкм/м				μ			
		P, МПа							
		1	3	4	5	1	3	4	5
Al-7Fe-38Sn	570	0,04	0,18	0,25	0,30	0,43	0,37	0,38	0,31
Al-7Fe-38Sn	710	0,10	0,17	0,21	0,22	0,45	0,36	0,34	0,32
(Al-9Si)-40Sn	570	0,14	0,34	0,37	0,36	0,51	0,42	0,32	0,26
(Al-12Si)-40Sn	570	0,12	0,18	0,23	0,26	0,60	0,43	0,42	0,35
Al-40Sn	600	0,13	0,20	0,23	0,25	0,64	-	-	0,31

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- упрочнение алюминиевых сплавов с большим содержанием олова кремнием значительного влияния на их износостойкость при сухом трении по стали не оказывает;
- введение в указанные сплавы железа способствует значительному повышению их износостойкости при малых давлениях. При возрастании давления эффект железа незначителен, и проявляется после спекания образцов выше температуры плавления Al.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006

Список литературы:

1. Миронов А.Е., Белов Н.А., Столярова О.О., Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения. – М.: Изд. дом МИСиС, 2016. – 222 с.
2. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Коростелева Е.Н. Триботехнические свойства сплава Al-40Sn при сухом трении // Изв.вузов. Физика. – 2012. – № 5/2. – С.239–247.

КОЛИЧЕСТВО КРАТЕРОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВЫХ СТЕКОЛ С ДВУХСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ TA- SI-AL-N ПРИ УДАРАХ ГИПЕРСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ

Р.Б. Турсунханова, аспирант гр. А0-08

В.П. Сергеев, д.т.н., профессор ОмШ, ИШНПТ

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: rbt1@tpu.ru

Космические аппараты (КА) на низкой орбите сталкиваются с природными метеороидами, повреждаются от ударов микрометеороидов и осколков космического мусора. Эти удары могут происходить на чрезвычайно высоких скоростях, и могут привести к разрушению и повреждению важных систем КА [1]. В большинстве случаев от ударов гиперскоростных частиц страдают различные оптические системы: стекла иллюминаторов, оптические линзы фотоаппаратов, фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей (ФЭП СБ) и т. д. При попадании высокоскоростной частицы в поверхностный слой стекла происходит локальное разрушение и распыление материала. На поверхности обычно образуется повреждение в виде лунки или кратера. В результате ухудшаются их оптические, физические свойства и технические характеристики.

Исходя из этого, одним из эффективных способов упрочнения материалов может быть нанесение на их поверхность наноструктурированных покрытий. На их основе можно формировать наноматериалы с высокими физико-химическими и физико-механическими характеристиками.

Целью данной работы является исследование изменения стойкости кварцевых стекол против ударного воздействия гиперскоростных твердых сферических частиц железного порошка со средним поперечным размером ~60 мкм после нанесения защитных двухслойных прозрачных покрытий на основе Ta/SiAlN в сравнении с SiAlN/TaN.

Методом импульсного магнетронного распыления получены и исследованы 2 вида образцов кварцевых стекол с защитными 2-х-слойными покрытиями: I – на основе Ta/SiAlN с толщиной слоев ~0,1 мкм и 0,9 мкм, и II – на основе SiAlN/TaN с толщиной слоев ~0,9 мкм и 0,1 мкм, соответственно.

При толщине ~1 мкм слой SiAlN является прозрачным в видимой области спектра, тогда как TaN – полупрозрачный, а Ta – совсем непрозрачен. Поэтому за критерий выбора толщины слоев TaN и Ta и порядка их нанесения была принята близость спектров пропускания видимого света. Они были подобраны так, что спектры имели одинаковый характер изменения средней величины коэффициента пропускания видимого света $T = 69 \pm 2$ % для Ta/SiAlN и SiAlN/TaN и равные в пределах экспериментальной ошибки в области длин волн 450 – 780 нм.

Структурно-фазовое состояние формируемых покрытий исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре ДРОН-7 в $Co-K_{\alpha}$ излучении. Установлено, что слои SiAlN в покрытии I формируют нанокристаллическую структуру, тогда как в покрытии II они находятся в аморфном состоянии. Об этом свидетельствуют картины дифракции, построенные по данным РСА (рисунок 1).

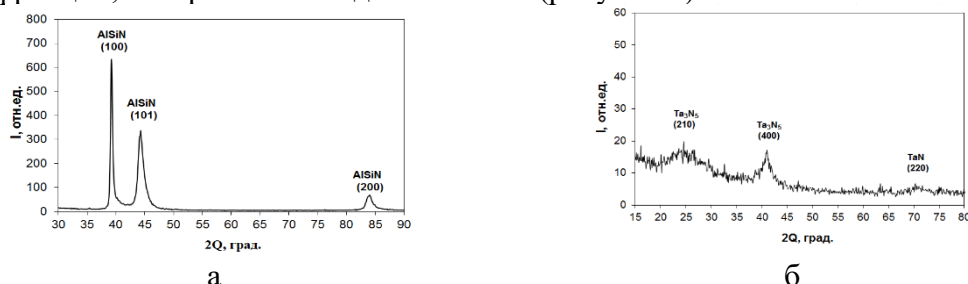


Рисунок 1. Рентгенограммы для покрытий I (а) и для покрытий II (б).

С целью исследования механических свойств кварцевых стекол с покрытиями I и II была измерена микротвердость H_m с помощью нанотвердомера NanoHardnessTester при нагрузке 20 мН, и рассчитаны значения приведенного модуля упругости E^* и коэффициента упругого восстановления k_e (таблица 1). Как видно на образцах с покрытием I механические свойства на 15–20% выше по сравнению с покрытием II. Это согласуется с данными более высоких механических свойств нанокристаллического материала SiAlN [2] в сравнении с TaN [3] и аморфным состоянием SiAlN [4].

Таблица 1. Средние значения микротвердости H_m , модуля упругости E^* , коэффициента упругого восстановления k_e , адгезии F_a и отношение поверхностной плотности кратеров ρ_0 на стекле без покрытия к плотности на стекле с покрытием ρ_n .

Образец	H_m , ГПа	E^* , ГПа	k_e	F_a , Н	ρ_0/ρ_n , мм ⁻²
Стекло с покрытием I	21,73 ± 1,06	133 ± 3	0,85	11,3 ± 0,6	2,1
Стекло с покрытием II	18,73 ± 0,95	131 ± 4	0,72	15,4 ± 0,7	1,57

Величину адгезии покрытий к стеклу определяли с помощью метода царапания поверхности покрытия алмазным индентором при равномерном увеличении нагрузки на него на макроскретч-тестере REVETEST-RST. Царапание поверхности покрытий проводили со скоростью 5 мм/мин, до максимального значения нагрузки 25 Н. Для каждого образца делали две царапины. Длина царапин составляла 10 мм. Оба покрытия обладают удовлетворительной величиной адгезии к подложке. Из полученных данных видно, что покрытие II имеет более высокую величину адгезии к кварцевой подложке, чем покрытие I (таблица 1).

Эксперимент по бомбардировке образцов из кварцевого стекла высокоскоростными сферическими микрочастицами железа со скоростью в интервале 5–8 км/сек был проведен на легкогазовой пушке МПХ23/8. После выстрела зарядом порошка подсчитывали количество образовавшихся кратеров с помощью сканирующего электронного микроскопа и определяли их поверхностную плотность по формуле:

$$\rho = \frac{N}{S},$$

где N - количество образовавшихся кратеров за один выстрел; S – площадь обстрелянного образца. Из таблицы 1 видно, что поверхностная плотность образующихся кратеров для покрытий I и II приведены в таблице 1.

Таким образом, исследованы 2 вида образцов кварцевых стекол с защитными 2-х-слойными покрытиями. Оба слоя Ta и SiAlN в покрытии I и верхний слой TaN в покрытии II формируются в наноструктурном состоянии, нижний слой SiAlN в покрытии II – в аморфном состоянии. Покрытие I имеет более высокие величины микротвердости, модуля упругости и коэффициента упругого восстановления, что обуславливает при осаждении покрытия I на стекло в сравнении с покрытием II достижение более высокого защитного эффекта от ударного воздействия гиперсверхскоростных микрочастиц железа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программ повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета (проект ВИУ-ИИШНПТ-213/2020) и фундаментальных научных исследований ИФПМ СО РАН (тема номер FWRW-2021–0010).

Список литературы:

- Новиков Л.С. Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты: М., 2009.
- Musil, M. Sasek, P. Zeman, et al. Surf. Coat. Technol. 202, 3485—3493 (2008).

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

3. Y. H. Yang, D. J. Chen, F. B. Wu. Surf. Coat. Technol. 303, 32-40 (2016).
4. V.P. Sergeev, M.V. Fedorischeva, et al. Adv. Mater. Res. 1085, 289-293 (2015).

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПЛОТНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА

Р.Р. Хабиров, магистрант

Т.С. Гудыма, аспирант

А.В. Масс, магистрант

Н.Ю. Черкасова, к.т.н., м.н.с.

Новосибирский государственный технический университет, 630087, г.Новосибирск,

пр.Карла Маркса,20,

тел.(383)- 346-06-12

E-mail: surlyrockfox@rambler.ru

Карбид бора B_4C имеет низкую плотность $2,52 \text{ г/см}^3$ в сочетании с высокой твёрдостью ($>30 \text{ ГПа}$). Он применяется для изделий, которые работают в условиях высоких удельных нагрузок, эрозийного износа, например, сопел пескоструйных аппаратов, керамических подшипников, режущих инструментов, легких бронепластин. Благодаря высокой стойкости в агрессивных средах при нагреве, большому сечению поглощения нейтронов карбид бора находит применение в ядерной энергетике. К недостаткам керамических материалов из B_4C относятся: низкая трещиностойкость ($2,4 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$), прочность на изгиб (400 МПа), ограниченная спекаемость. Относительная плотность от теоретической спеченных материалов из чистого B_4C обычно не превышает 80% . Сложности получения керамики связаны с присутствием сильных ковалентных связей В-С, которые ограничивают диффузию атомов, также негативное влияние оказывает низкая пластичность, высокое сопротивление проскальзыванию зёрен и низкая поверхностная энергия B_4C [1].

Один из эффективных способов повышения свойств этого материала – получение на его основе композиционной керамики с добавлениями боридов титана или циркония. Бориды, равномерно распределенные в матрице B_4C , будут сдерживать рост его зерен, что в свою очередь оказывает благоприятное влияние на показатели трещиностойкости и прочности на изгиб композитов. При этом должна сохраняться высокая твёрдость. В работе [2] методом горячего прессования были получены материалы $85 \text{ об. } \% B_4C - 15 \text{ об. } \% TiB_2$ с пределом прочности на изгиб на уровне 620 МПа и трещиностойкостью $6,1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. В то же время, добавка ZrB_2 в количестве от 5 до $30 \text{ об. } \%$ позволяет повысить прочность на изгиб до 500 МПа , трещиностойкость до $6,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ [3]. Следует отметить, что в современной литературе в качестве источника углерода при синтезе композиционной керамики такого состава обычно используется сажа. При этом наблюдается недостаток информации о применении реагента в форме нановолокнистого углерода, который, предположительно, позволит снизить температуру и давление горячего прессования, сохранив высокие механические свойства получаемой керамики. Таким образом, целью данной работы является оценка фазового состава и плотности композиционной керамики состава $B_4C - TiB_2$ и $B_4C - ZrB_2$, полученных с использованием нановолокнистого углерода.

Для получения композиционных порошков $B_4C - TiB_2$ и $B_4C - ZrB_2$ применяли карбидоборный синтез. В качестве исходных материалов использовали высокодисперсный порошок B_4C , порошки диоксидов титана и циркония, нановолокнистый углерод. Предварительно проводили помол порошков в планетарной мельнице. Экспериментальные образцы были получены с использованием метода горячего прессования. Для определения плотности материалов использовали метод гидростатического взвешивания в соответствии с ГОСТ 2409-2014. Фазовый состав образцов исследовали на дифрактометре ARL X'TRA с медной рентгеновской трубкой.

На рис. 1 представлены результаты рентгенофазового анализа образцов, содержащих $70 \text{ вес.} \% B_4C$ и $30 \text{ вес.} \% ZrB_2$ (рис. 1, а), $70 \text{ вес.} \% B_4C$ и $30 \text{ вес.} \% TiB_2$ (рис. 1, б). Зафиксировано наличие фаз B_4C , ZrB_2 , TiB_2 и С. Присутствие углерода объясняется тем, что при спекании в

качестве барьерного материала используется графитовая бумага, частицы которой могут проникать в поверхностные слои образцов. Другие примесные фазы и исходные реагенты не зафиксированы, что говорит о полноте протекания реакций.

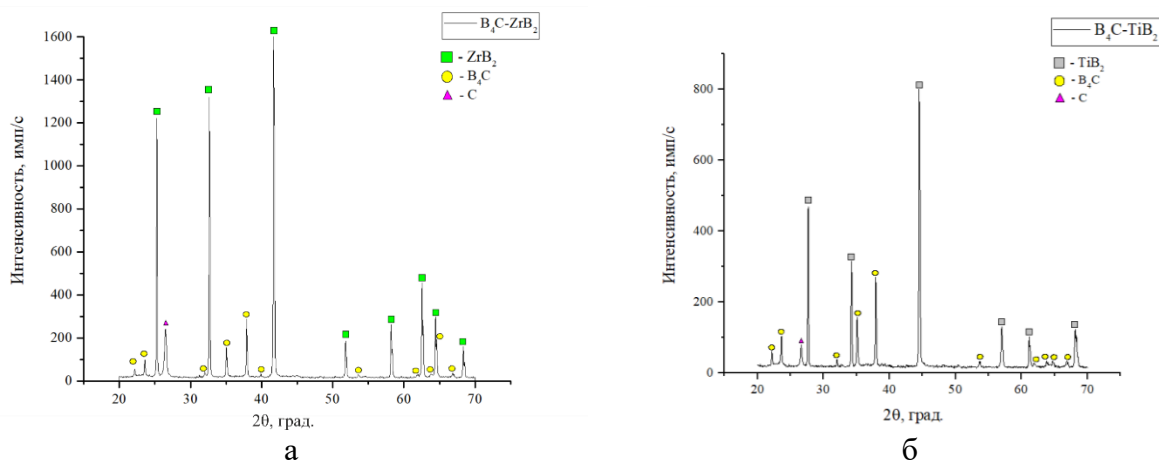


Рис. 1. Фазовый состав композиционной керамики 70 вес.% B_4C – 30 вес.% ZrB_2 (а), 70 вес.% B_4C – 30 вес.% TiB_2 (б)

Результаты измерения относительной плотности образцов представлены в таблице 1. Установлено, что присутствие добавок боридов не оказывает негативного влияния на плотность материалов. Соответственно, в дальнейшем является целесообразным проводить исследования по оценке влияния упрочняющих добавок на механические свойства композитов.

Таблица 1. Относительная плотность экспериментальных материалов.

Серия	Относительная плотность, % от теор.
100 B_4C	96,9
70 B_4C -30 TiB_2	96,9
70 B_4C -30 ZrB_2	96,6

Работа выполнена в соответствии с Федеральным заданием Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FSUN-2020-0014 (2019-0931)): «Исследования метастабильных структур, формируемых на поверхностях и границах раздела материалов при экстремальном внешнем воздействии». Исследования проведены на оборудовании ЦКП Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ. (№ 13.ЦКП.21.0034, 075-15-2021-698).

Список литературы:

1. Zhang, X. // Microstructure and mechanical properties of fine-grained boron carbide ceramics fabricated by high-pressure hot pressing combined with high-energy ball milling / X. Zhang, Z. Zhang, B. Nie, H. Chen, Y. Wang, L. Zheng, Y. Bai, W. Wang // *Ceramics International*. – 2018. – V. 44. – P. 10776-10772.
2. Yue, X.Y. Microstructures and mechanical properties of B_4C – TiB_2 composite prepared by hot pressure sintering / X.Y. Yue, S.M. Zhao, L. Yu, H.Q. Ru Key // *Eng. Mater.* – 2010. - V. 434. – P. 50–53.
3. He, R. Effects of ZrB_2 contents on the mechanical properties and thermal shock resistance of B_4C – ZrB_2 ceramics / R. He, L. Jing, Z. Qu // *Materials and Design*. – 2015. - V. 71. - P. 56–61.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ В АЛЮМИНИЕВО-
МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ АМГ5 И 01570 ТОЛЩИНОЙ 35 ММ**

*А.М. Черемнов, аспирант, м.н.с., Е.А. Княжев, аспирант, м.н.с.,
Т.А. Калашикова, к.т.н., н.с.*

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской
академии наук, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,
тел. (3822)-286-863*

E-mail: www.acheremnov@gmail.com

Сварка трением с перемешиванием (СТП) используется в промышленности для получения качественного неразъемного соединения. В основном данная технология применяется для сварки алюминиево-магниевого сплава [1-4], более сложных сплавов системы Al-Mg-Sc, Al-Mg-Sc-Zr [5] сплавов систем Al-Cu-Li [6], Al-Zn-Mg-Cu [7], Al-Cu-Mg [8], разнородных алюминиевых сплавов [4, 8] и др. Однако известно, что при сварке заготовок больших толщин (30-35 мм) возникают температурные градиенты. В результате происходит изменение условий адгезионного взаимодействия между СТП-инструментом и свариваемым металлом, в связи с чем формирование зоны перемешивания в сравнении с заготовками меньшей толщины принципиально отличается показателями отвода тепла. Одной из наиболее актуальных задач для исследований является определение закономерности течения материала по контуру инструмента и формирование механических свойств сварного шва в различных направлениях при сварке заготовок больших толщин. Целью настоящей работы является исследование и выявление различий формирования зоны перемешивания и механических свойств СТП-соединений большой толщины на примере алюминиево-магниевого сплава АМГ5 и 01570 толщиной 35 мм.

В настоящей работе были исследованы СТП-соединения из листового проката толщиной 35 мм алюминиево-магниевого сплава АМГ5 и сплава системы Al-Mg-Sc-Zr – 01570. СТП соединения были получены в ЗАО «Чебоксарское предприятие «Сеспель». Металлографические исследования проводились на образцах, вырезанных в перпендикулярном и планарном направлении сварки сечений, при помощи оптического микроскопа Альтами МЕТ 1С. Образцы для механических испытаний вырезались согласно ГОСТ 1497-84 в виде лопаток в направлении перпендикулярном направлению сварки. Испытания на растяжение проведены на машине для испытания конструкционных материалов «УТС 110М-100».

СТП-соединения характеризуются бездефектной структурой, что подтверждается методом оптической металлографии. Микроструктура зоны перемешивания в СТП-соединении сплава АМГ5 отличается от микроструктуры, наблюдаемой при сварке заготовок сплава 01570, при этом на макроуровне структура соединений имеет схожее строение. Монолитного ядра в виде «луковичной» структуры в образцах в обоих случаях не обнаруживается, однако, наблюдаются отдельные слои в виде потока металла по контуру инструмента. Такое положение обусловлено меньшими значениями давления в зоне формирования соединения относительно объема материала по сравнению со сваркой изделий меньших толщин.

В сплаве 01570 непосредственно на границе зоны термомеханического воздействия с зоной перемешивания наблюдается явление гофрирования, когда первоначально вытянутые соседние зерна волнообразно изгибаются под действием усилия сжатия от зоны перемешивания, прикладываемого вдоль длинной оси зерна. Также в образце сплава 01570 можно заметить, что величина прогрева верхней части зоны перемешивания была недостаточной за счет вращения плеч инструмента, особенно в начальной части шва. В соединениях сплава АМГ5 таких явлений не наблюдается.

В нижней части зоны перемешивания для обоих исследуемых металлов структура металла представлена достаточно стабильным строением. Также присутствуют зоны, в которых травление выявляет слои в зоне перемешивания. Следует отметить, что распределение данных зон по толщине образцов достаточно неоднородно и изменяется от одного образца к другому неравномерно. Такое положение может объяснить большее давление от прижатия сварочного инструмента внизу зоны перемешивания, чем в верхней части. Отчасти это может подтвердить механика процесса сварки.

При исследовании пластического течения материала в зоне от выхода инструмента было выявлено, что микроструктура на разных уровнях горизонтальных сечений по толщине образца сплава 01570 одинакова. Это свидетельствует о том, что механизм послойного переноса является макроскопическим.

Проведенные исследования показывают, что несмотря на наличие неоднородностей структуры образцов, полученных путем обработки трением с перемешиванием толстолистовых заготовок толщиной 35 мм из сплавов АМг5 и 01570, механические свойства материала зоны обработки превышают свойства материала основного металла. Испытания на равноосное растяжение показывают типичное деформационное поведение для алюминиево-магниевых сплавов с присущим ему эффектом прерывистой пластичности. Также можно отметить высокую стабильность деформационного поведения при растяжении, о чем свидетельствует наложение графиков друг на друга

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН.

Список литературы:

1. Deng Y., Peng B., Xu G., Pan Q., Yin Z., Ye R., Wang Y., Lu L. Effects of Sc and Zr on mechanical property and microstructure of tungsten inert gas and friction stir welded aerospace high strength Al-Zn-Mg alloys // *Materials Science and Engineering: A*. – 2015. – № 639. – P. 500-513.
2. Bala Chennaiah M, Ravi Kumar K, Sridhar V. Influence of tool profiles on similar Al-5083 alloys using friction stir welding // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – № 46. – P. 8032-8037.
3. Bala Chennaiah M, Ravi Kumar K, Sridhar V. Influence of tool profiles on similar Al-5083 alloys using friction stir welding // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – № 46. – P. 8032-8037.
4. Khan N.Z., Maqbool A., Ahmad T., Siddiquee A.N., Khan Z.A. Fracture behaviour of friction stir welded dissimilar aluminium alloys // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – № 46. – P. 6688-6691.
5. Kalashnikova T, Chumaevskii A, Kalashnikov K, Fortuna S, Kolubaev E, Tarasov S. Microstructural analysis of friction stir butt welded Al-Mg-Sc-Zr alloy heavy gauge sheets // *Metals*. – 2020. – № 10 (6). – P. 1-20.
6. Naumov A, Isupov F, Rylkov E, Polyakov P., Panteleev M., Skupov A., Amancio-Filho S.T., Panchenko O. Microstructural evolution and mechanical performance of Al-Cu-Li alloy joined by friction stir welding // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2020. – № 9 (6). – P. 14454-14466.
7. Orozco-Caballero A., Ruano O.A., Rauch E.F., Carreño F. Severe friction stir processing of an Al-Zn-Mg-Cu alloy: Misorientation and its influence on superplasticity // *Materials & Design*. – 2018. – № 137. – P. 128-139.
8. Anil Kumar K.S., Murigendrappa S.M., Kumar H. A Bottom-Up Optimization Approach for Friction Stir Welding Parameters of Dissimilar AA2024-T351 and AA7075-T651 Alloys // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2017. – № 26 (7). – P. 3347-3367.

**ПЛОТНОСТЬ И СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ,
СОДЕРЖАЩЕЙ ГЕКСААЛЮМИНАТ СТРОНЦИЯ**

*Н.Ю. Черкасова, к.т.н., м.н.с.,
К.А. Антропова, магистрант
Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
тел. (383)- 346-06-12
E-mail: cherkasova.2013@corp.nstu.ru*

На сегодняшний день алюмоциркониевые композиционные керамические материалы являются востребованными в различных областях промышленности [1]. Однако данные материалы характеризуются низким уровнем трещиностойкости, поэтому любые исследования, направленные на повышение стойкости к зарождению и распространению трещин являются актуальными на сегодняшний день. Так, одним из перспективных подходов к повышению трещиностойкости рассматриваемых материалов путем структурных преобразований является формирование в спеченных материалах гексаалюминатов различного состава [2].

Ранее в наших работах была оценена эффективность применения малых добавок гексаалюмината стронция для роста уровня критического коэффициента интенсивности напряжений керамик [3]. Следует отметить, что рост трещиностойкости материалов при использовании данных соединений преимущественно обусловлен их пластинчатым строением. По этой причине значительный научный интерес вызывают работы, направленные на изучение особенностей структурообразования пластинчатых кристаллов гексаалюминатов щелочных и щелочноземельных металлов, сформированных в оксидной матрице при спекании.

В данной работе на примере алюмоциркониевой керамики, содержащей гексаалюминат стронция, оценено изменение плотности и структуры материалов при их нагреве в температурном диапазоне от 1300 до 1500 °С. Экспериментальные материалы получены путем диспергирования и последующего смешивания исходных порошков, их дальнейшего гранулирования и сухого прессования. Спекание компактов проводили в камерной печи в среде кислорода. Изотермическая выдержка при температуре спекания составляла 1 час. Кажущуюся плотность определяли методом гидростатического взвешивания. Структуру образцов изучали с использованием растрового электронного микроскопа Carl Zeiss Sigma.

Экспериментально установлено, что при температуре 1300 °С плотность материалов снижается от 76 до 57 % относительно теоретической при увеличении содержания гексаалюмината стронция от 0 до 15 масс. %. В то же время при температуре спекания 1500 °С относительная плотность алюмоциркониевой керамики находится на уровне 98,5 % от теоретич., а содержащей 15 масс. % соединения SrAl_2O_9 – 77 % от теоретич. Увеличение плотности с ростом температуры спекания соответствует литературным данным и объясняется интенсификацией диффузионных процессов, протекающих при спекании керамик.

Согласно предварительно проведенным dilatометрическим исследованиям, температуры 1300 и 1400 °С соответствуют начальной и промежуточной стадиям спекания исследуемых материалов. В то время как температура 1500 °С – конечной стадии спекания, для которой характерно уменьшение количества пор и рост плотности материалов. Также следует отметить, что снижение плотности с увеличением содержания гексаалюмината стронция связано с его пластинчатым строением, которое препятствует формированию контактов между зернами составляющих композитов.

Электронномикроскопические исследования показали присутствие пористости в материалах и ее корреляцию с уровнем плотности. Установлено, что для каждой

экспериментальной серии значительная часть пор (около 50 %) имеет средний размер $0,4 \pm 0,1$ мкм. При этом с увеличением содержания гексаалюмината стронция в материале наблюдается увеличение размера пор до 10 мкм. Однако доля таких пор составляет не более $0,10 \pm 0,05$ %. Кроме того, наблюдается наличие внутриверной и межзеренной пористости.

Дальнейшие детальные микроскопические исследования позволили установить, что при температуре 1300, 1400 °С форма зерен оксида алюминия и диоксида циркония преимущественно округлая, контактов между зернами оксида алюминия значительно меньше, чем у материалов, спеченных при более высоких температурах. При 1400 °С зафиксировано увеличение количества перешейков между зернами и их уширение, а форма пор преимущественно округлая, что также подтверждает протекание промежуточной стадии спекания при данной температуре. Длина пластин гексаалюмината стронция в материалах, спеченных при низких температурах, составляет $0,7 - 1$ мкм, а толщина порядка 100 нм. При этом для материалов, спеченных при 1500 °С, длина пластин схожая, а толщина составляет до $0,3$ мкм.

Таким образом, установлено, что с увеличением температуры спекания изменяются не только размеры зерен матричных составляющих, но и включений пластинчатых кристаллов. В дальнейшем планируется проведение более детальных структурных исследований полученных материалов, а также определение их механических характеристик.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00306, <https://rscf.ru/project/21-79-00306/>. Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» НГТУ.

Список литературы:

1. Гольдберг М. А., Оболкина, Т. О., Смирнов С. В., Антонова О. А., Титов Д. Д. Влияние переходных металлов на свойства и температуру спекания керамики на основе системы $ZrO_2-Al_2O_3$ //Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. – Т. 10. – №. 1 (3).
2. Подзорова Л. И., Ильичева А. А., Сиротинкин В.П., Антонова, О. С., Баикин А. С., Кутузова В.Е., Пенькова О.И. Керамические композиты системы диоксида циркония и оксида алюминия, включающие гексаалюминат стронция //Стекло и керамика. – 2021. – №. 6. – С. 22-28.
3. Черкасова Н. Ю., Батаев А. А., Веселов С. В., Кузьмин Р. И., Стукачева Н. С., Зимоглядова Т. А. Структура и трещиностойкость керамики на основе Al_2O_3 и ZrO_2 с добавкой $SrAl_{12}O_{19}$ //Письма о материалах. – 2019. – Т. 9. – №. 2. – С. 179-184.

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

*В. М. Шеманков, к.т.н., доц.,
М. А. Рабыко, аспирант.*

*Белорусско-Российский университет,
212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр. Мира, 43, тел. +375 (44) 740-06-64
E-mail: Vshemenkov@yandex.ru*

Как известно внешнее магнитное поле широко используется в практике создания модифицированных слоев различными методами ионно-плазменной обработки, таких как ионное азотирование, цементация и др. Применение внешнего магнитного поля при реализации указанных методов дает возможность изменения основных параметров тлеющего разряда.

В рамках проведенных в Белорусско-Российском университете исследований, направленных на установление влияния обработки высоковольтным тлеющим разрядом, зажигаемым в среде остаточных атмосферных газов, на структурно-фазовое состояние поверхностных слоев различных инструментальных материалов накоплен большой опыт, позволяющий получать стабильные результаты [1, 2].

Практика реализации тлеющего разряда в прикатодном продольном магнитном поле показала перспективность этого метода при получении модифицированных поверхностных слоев для изделий из штамповых сталей [3].

На основании полученных результатов комплексных металлографических, рентгеноструктурных и дюротрических исследований установлено, что обработка штамповых сталей тлеющим разрядом в продольном магнитном поле с индукцией от 20 до 80 мТл приводит к измельчению карбидных включений, изменению степени искажений кристаллической решетки матричной фазы (α -Fe), уменьшению остаточного аустенита за счет полиморфного превращения γ -Fe \rightarrow α -Fe в поверхностном слое на глубине до 80 – 100 мкм. Указанные изменения приводят к приращению поверхностной твердости до 15 % (см. рис. 1 – 4).

Стоит отметить, что использование магнитного поля привело к получению сопоставимых результатов, полученных при обработке только тлеющим разрядом с большими энергетическими параметрами.

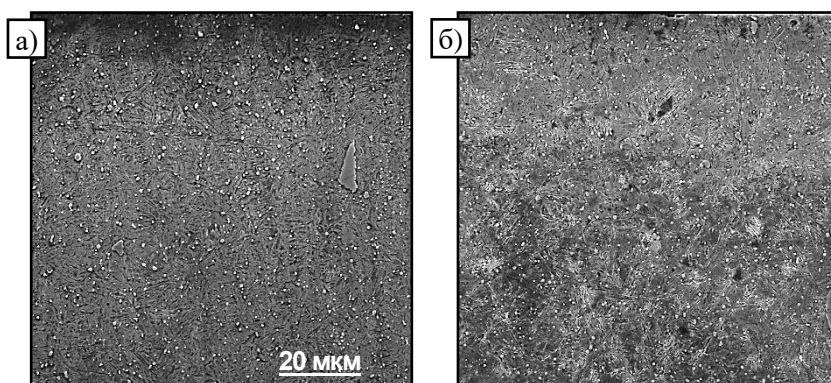


Рис. 1 Структура стали 4Х4ВМФС (ДИ22): а – до обработки; б – после обработки.

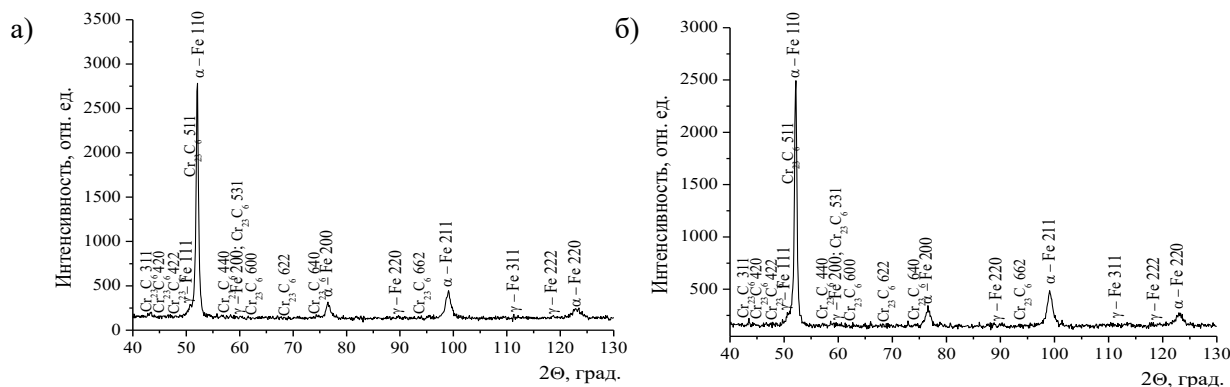


Рис. 2 Фрагменты дифрактограмм стали 4X4VMФС (ДИ22): а – до обработки; б – после обработки.

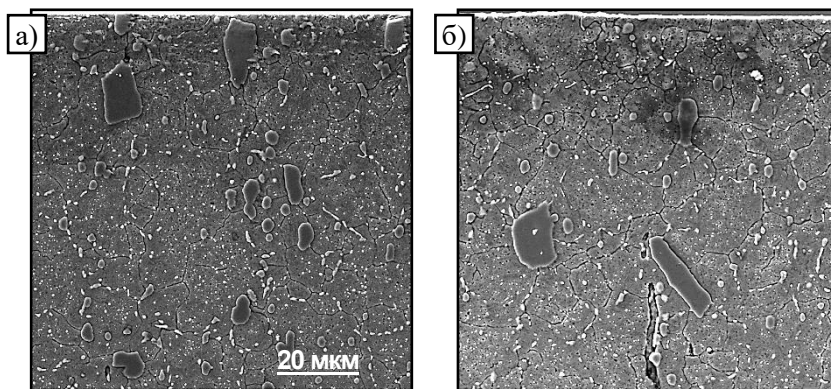


Рис. 3 Структура стали X12MФ: а – до обработки; б – после обработки.

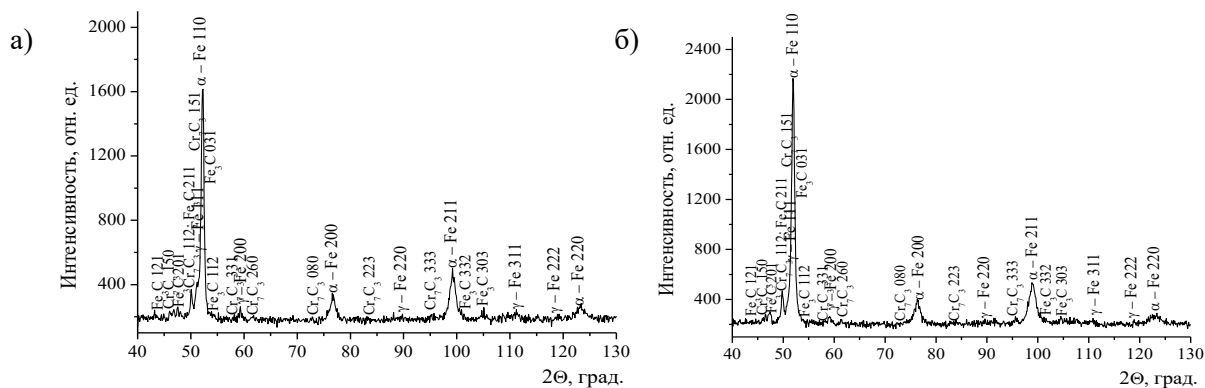


Рис. 4 Фрагменты дифрактограмм стали X12MФ: а – до обработки; б – после обработки.

Список литературы:

1. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом : [монография] / В.М. Шеменков [и др.] ; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В.М. Шеменкова. – Могилев: Белорус.-Рос. Ун-т, 2017. – 270 с. : ил.
2. Shemenkov, V. M. Effect of Glow Discharge Treatment on the Depth and Degree of Structural Phase Modification of Tool Steel Products / V. M. Shemenkov, M. A. Rabyko // IOP Conf. Series: International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020) 26th-30th October 2020, Tomsk, Russia. – 2021. – vol. 1118 (2021) 012009. – 7 p.
3. Способ упрочнения изделий из металла, или сплава, или сверхтвёрдого материала: Пат. № 19126 ВУ, С1 В. М. Шеменков, М.А. Белая; заявитель и патентообладатель Гос. учреждение высш. проф. образования «Белорусско-Российский университет». – №20120561; заявл. 05.04.2012. опублик. 30.02.2013. – 3 с.

**ОЦЕНКА КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА SiO₂**

*В.В. Шеховцов, к.т.н.,
Н.К. Скрипникова, д.т.н., профессор,
Р.Ю. Бакианский, студент гр. 3018/1
Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003,
г. Томск, пл.Соляная,2,
тел. +7-913-872-27-77
e-mail: shehovcov2010@yandex.ru*

Известно, что при испарении и конденсации SiO₂, получаемые наноразмерные частицы состоят из большого количества аморфной фазы. Встречаются работы, где идентифицируется слабо интенсивная кристалличность, представленная β-кварцем [1] и α-квистаболитом [2], но в тоже время не проводится анализ аморфной фазы и склонности её к дальнейшей кристаллизации.

Для экспериментальных исследований в работе использовался обогащенный природный кварц [3]. Данный вид материала представлен твердофазными частицами диаметром $D_p = 1 \div 5$ мм с насыпной плотностью $\rho_p = 2.37$ г/см³. Обогащенный природный кварц состоит из SiO₂=98±2 мас. %, в качестве примесей выступают Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, R₂O. Температура плавления и испарения SiO₂ соответствует $T_{melt} = 1993$ К, $T_{vap} = 3048$ К.

Процесс работы электроплазменной установки описан в работах [4, 5] по получению силикатных расплавов из тугоплавких оксидных материалов. К особенностям работы установки при получении нанопорошка SiO₂, можно отнести: тип и расход плазмообразующего газа – азот, 1 г/с соответственно; диаметр выходного сечения сопла плазмотрона 10 мм.

При данных условиях эксперимента, в течение 5 минут, реактор позволяет получать до 10 г целевого продукта. Внешний вид нанопорошка представлен рыхлым белым налетом на охлаждаемых стенках реактора. Сбор порошка осуществлялся с помощью титановой фольги и помещался в стеклянные ёмкости.

Для подтверждения о наноразмерности полученного порошка и оценки его морфологических особенностей проведем анализ ПЭМ-изображений (рис. 1).

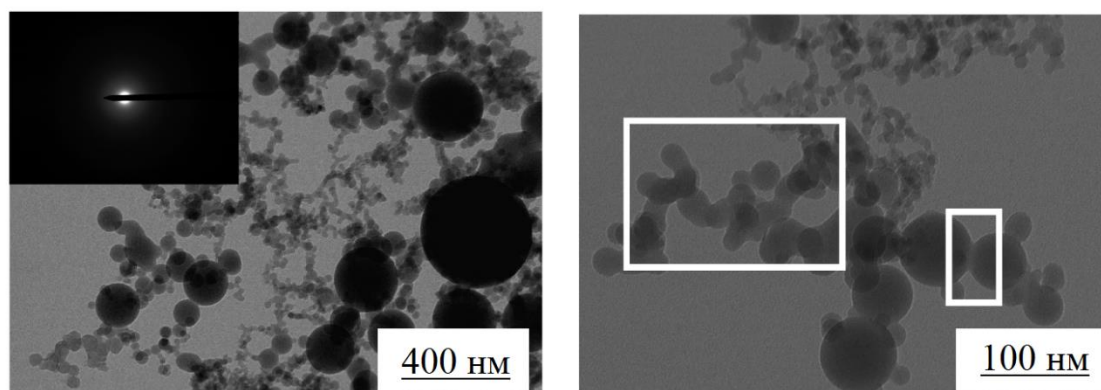


Рис. 1. Форма и размер полученного нанопорошка SiO₂

Обобщая, полученные результаты рентгенодифракционной спектроскопии, можно записать следующую схему фазовых переходов и равновесий полиморфных модификаций SiO₂ (рис. 2).

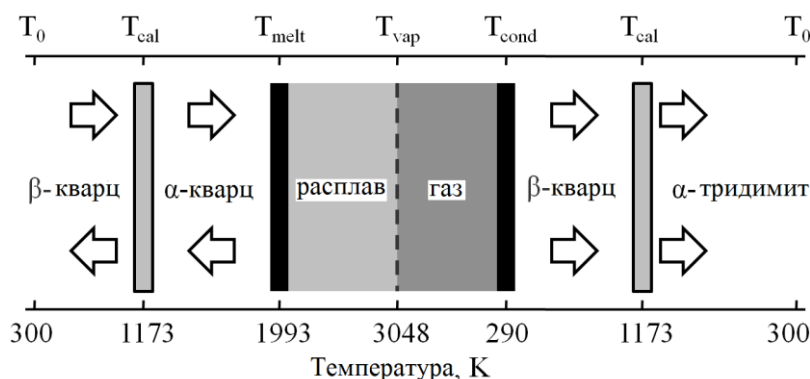


Рис. 2. Схема фазовых переходов и равновесий полиморфных модификаций SiO₂

Рассматривая левую часть рис. 2, исходный природный β -кварц склонен, только к энантиотропному превращению, так как β -кварц обладает наиболее плотной структурой полиморфной модификации SiO₂. В тоже время на фазовый переход, существенное влияние оказывает зерновой состав материала. Наличие крупной фракции и слабо развитой поверхности исходных частиц, сопряжено с препятствием в стабилизации устойчивой тридимитной фазы. Это обусловлено нехваткой высокодисперсных включений на поверхности частиц, позволяющие осуществлять смачивание твердой фазы при термических напряжениях, соответствующих границам перехода и стабилизации слабоустойчивой фазы α -тридимит.

Анализ правой части рис. 2, показывает, что при равных условиях термического воздействия $\sim T_{cal}$ полученный нанопорошок порошок модификацией β -кварц, позволяет произвести стабилизацию и сохранить наличие фазового перехода в α -тридимит модификацию SiO₂. Данный эффект достигается за счет высокой дисперсности и наличием связанных цепочек между наноразмерными частицами. Формируемые при конденсации цепочки в результате незначительного нагрева позволяют сформировать дисперсный слой, представленный α -кварцем за счет высокого коэффициента поверхностного натяжения.

Таким образом, полученный высокодисперсный порошок характеризуется присутствием аморфизированных связей, объединяющих частицы в полидисперсные объекты. Нагрев порошка до температуры $T_{cal} = 1173$ К позволяет осуществить кристаллизацию и сгруппировать отдельные нанокластеры SiO₂.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10102).

Список литературы:

1. Kosmachev P.V., Abzaev Y.A., Vlasov V.A. Quantitative Phase Analysis of Plasma-Treated High-Silica Materials // Russ. Phys. J. – 2018. – V. 61. – No 2. – Pp. 264–269.
2. Il'ves V.G., Zuev M.G., Sokovnin S.Yu. Properties of Silicon Dioxide Amorphous Nanopowder Produced by Pulsed Electron Beam Evaporation // Journal of Nanotechnology. – 2015. – V. 1. – No. 8. – Pp. 8.
3. Abzaev Y.A., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Investigation of the Melting of Quartz Sand by Low-Temperature Plasma // Glass. Ceram. – 2015. V. 72. – No. 5-6. – Pp. 225–227.
4. Vlasov V.A., Volokitin O.G., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V. Calculation of the Melting Process of a Quartz Particle Under Low-Temperature Plasma Conditions // J. Eng. Phys. Thermophy. 2016 – V. 89. – No. 1 – Pp. 152–156.
5. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of Application of Low-Temperature Plasma in Construction and Architecture // Glass Physics and Chemistry. – 2018. – V. 44. – No. 3. – Pp. 251–253.

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА-НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА НА
ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ
МЕХАНОСИНТЕЗА**

*Р.Р. Эльман, аспирант гр. А1-08,
Н. Курдюмов, аспирант гр. А1-08,
В.Н. Кудияров, к.т.н., доц.*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел.89138801428
E-mail: rrel@tpu.ru*

Разработка перспективных материалов для хранения водорода – одна из важнейших задач для расширения водородной экономики. Одним из наиболее эффективных способов хранения водорода являются гидриды металлов. Перспективным материалом для хранения водорода является гидрид магния из-за высокого массового содержания водорода. Тем не менее, использование магния в качестве обратимого поглотителя водорода проблематично из-за высокой температуры, необходимой для десорбции водорода из гидрида магния с приемлемой скоростью. Для улучшения свойств гидридов металлов, в частности гидрида магния, применяются механические методы обработки порошка, а также добавление каталитических добавок. Углеродные нанотрубки (УНТ) считаются перспективным материалом-добавкой к гидриду магния. Существует множество работ, показывающих, что добавление углеродных нанотрубок позволяет снизить энергию активации десорбции водорода и, как следствие, температуру сорбции/десорбции [1]. Однако имеются и работы, в которых каталитический эффект УНТ отсутствовал или даже препятствовал улучшению свойств Mg/MgH₂ [2]. Тем не менее, многие авторы подчеркивают, что влияние параметров измельчения до конца не исследовано. Так, существует множество зависящих от режима измельчения факторов, влияющих на сорбционные/десорбционные свойства полученного композита, например равномерность распределения нанотрубок в композите, их структурная целостность, размеры частиц гидридообразующего металла и т. д. Как правило, высокая равномерность распределения УНТ и сохранение их целостности положительно сказывается на сорбционных/десорбционных свойствах полученного композита. Таким образом цель данной работы – определение методики получения композитов на основе гидрида магния и углеродных нанотрубок, с равномерным распределением УНТ в составе композита и сохранением их структуры.

Наводороживание магния и оценка десорбционных свойств полученного композита производились при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. Синтез композитов MgH₂-УНТ производился в планетарной мельнице в течение 60, 120 и 180 минут при частоте вращения барабанов 300, 660 и 900 об/мин. Для определения факта целостности структуры УНТ использовалась сканирующая электронная микроскопия. Количество добавляемых УНТ - 5 масс.% от MgH₂.

На рисунке 1 приведены микрофотографии композитов, полученные при различном времени измельчения. При 660 и 900 об/мин целой структуры УНТ не наблюдается уже при 60 минутах измельчения, в то время как при 300 об/мин и 60 минутах измельчения структура нанотрубок сохраняется, однако они распределены неравномерно и наблюдаются области с повышенной концентрацией пучков УНТ. Стоит заметить, что размеры частиц MgH₂ колеблются от нескольких до десятков микрон как при низкой скорости вращения барабанов, так и при высокой.

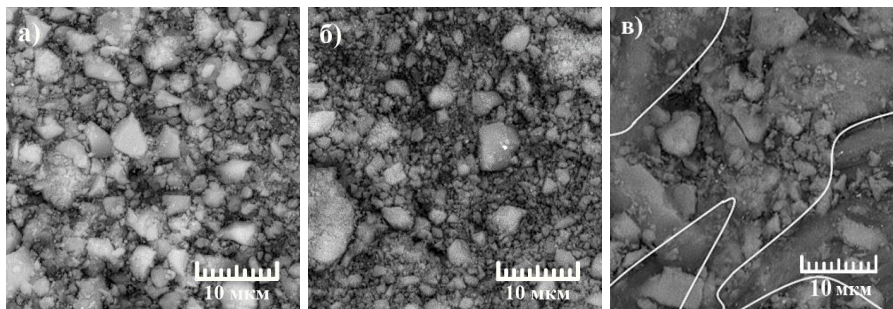


Рис. 1. СЭМ-изображения композитов MgH_2 –УНТ, полученных путем измельчения в течение 60 минут при скорости вращения барабанов 300 (а), 660 (б) и 900 об/мин (в). Белым цветом обведены области концентрации пучков нанотрубок.

Увеличение времени измельчения до 120 минут уменьшало количество областей с большим количеством пучков нанотрубок. В композите, измельченном в течение 180 минут таких областей уже не наблюдалось, что продемонстрировано на рисунке 2 (а). Увеличение времени измельчения значительно влияет и на размеры пучков нанотрубок, которые становятся короче из-за разрушения и распускаются на отдельные нанотрубки. Высокая скорость измельчения негативно сказалась на десорбционных свойствах композита. Анализируя кривые термостимулированной десорбции (ТСД), представленные на рисунке 2 (б), можно заключить, что сохранение структуры нанотрубок и их равномерное распределение в композите способствовало улучшению десорбционных свойств композита.

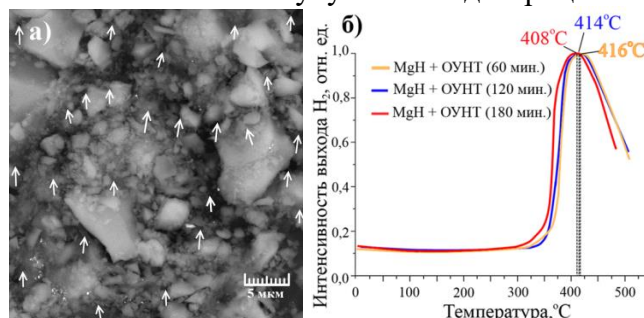


Рис. 2. СЭМ-изображение композита MgH_2 –УНТ, полученного путем измельчения при 300 об/мин в течение 180 минут (а) (стрелочки указывают на УНТ), а также ТСД-кривые для композитов, полученных при скорости вращения барабанов 300 об/мин и различной продолжительности измельчения (в).

Таким образом, исходя из микрофотографий и кривых ТСД, скорость измельчения 300 Гц и время измельчения 180 минут являются минимально необходимыми параметрами, способствующими равномерному распределению УНТ и сохранению их структуры, что приводит к лучшему каталитическому эффекту.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № FSWW-2020-0017.

Список литературы:

3. Lototsky M. et al. Magnesium–carbon hydrogen storage hybrid materials produced by reactive ball milling in hydrogen // Carbon. – 2013. – Vol. 57. – P. 146–160.
4. Cai W. et al. Positive and negative effects of carbon nanotubes on the hydrogen sorption kinetics of magnesium // The Journal of Physical Chemistry C. – 2015. – Vol. 119, N.45. – P. 25282–25290.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ЦИРКОНИЕВЫМ СПЛАВОМ Э110 С ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Р.Р. Эльман, аспирант гр. А1-08

А.Д. Ломыгин, аспирант гр. А1-08

В.Н. Кудияров, к.т.н., доц.,

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел.89138801428*

E-mail: rrel@tpu.ru

Произошедшая в 2011 году авария на АЭС «Фукусима» стала одним из факторов, стимулировавших развитие международных отношений в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), направленных на модернизацию и улучшение технологий, а также материалов атомной энергетики. В частности, большое внимание стало уделяться совершенствованию функциональных материалов активной зоны ядерных реакторов [1]. Основным вызовом в данной сфере является предотвращение окисления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) из циркониевых сплавов. В настоящий момент существует два подхода, позволяющие разрешить данную проблему: это разработка и создание нового материала, который заменит циркониевые сплавы, или совершенствование сплавов на базе циркония с целью повышения их антикоррозионных свойств и улучшения механических характеристик. Основываясь на втором пути решения данной проблемы, предлагается наносить хромовое покрытие на топливные оболочки, что должно привести к повышению их стойкости во время аварий с потерей теплоносителя (в англ. литературе - LOCA). Таким образом, цель данной работы - проведение исследования стойкости хромовых покрытия к наводороживанию методом оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда (ОЭС–ТР).

В качестве подложки для хромового покрытия использовался сплав циркония Э110 (Nb - 0,9...1,1%; Fe - 0,015%; Ni - 0,007%; Al - 0,004%; Ti - 0,003%; C - 0,02%; Si - 0,004%; O - 0,05%; N - 0,003%; H - 0,001...0,002%). Для нанесения покрытий использовалась классическая конструкция магнетронного диода (холодная мишень, DM), а также магнетрон с «горячей» мишенью (HM). Установка для определения химического состава покрытий и проверки однородности слоёв по глубине -спектрометр тлеющего разряда GD-Profiler 2, основанный на методе оптической эмиссионной спектроскопии. Он позволяет определять большинство химических элементов в периодической системе, обладает низким пределом их обнаружения и высоким глубинным разрешением [2]. Газофазное наводороживание покрытий производилось при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller (GRC) при температуре 360 ± 2 °С и давлении водорода 2 атм. Время выдерживания образцов при данных условиях составляло 60 минут.

На рисунке 1 (а) приведены кривые сорбции водорода образцов циркониевого сплава с покрытиями хрома, полученными при помощи магнетронного распыления. Кривые сорбции показывают зависимость времени наводороживания от количества сорбированного водорода. Исходя из полученных результатов видно, что кривые имеют линейную зависимость. Также можно заметить, что покрытие, нанесенное путем распыления «горячей» мишени, имеет меньшую степень защиты от воздействия водорода, чем покрытие, полученное путем классического магнетронного распыления. Скорость сорбции водорода покрытиями из хрома и исходным образцом из циркониевого сплава Э110 определялась по линейным участкам кривых сорбции.

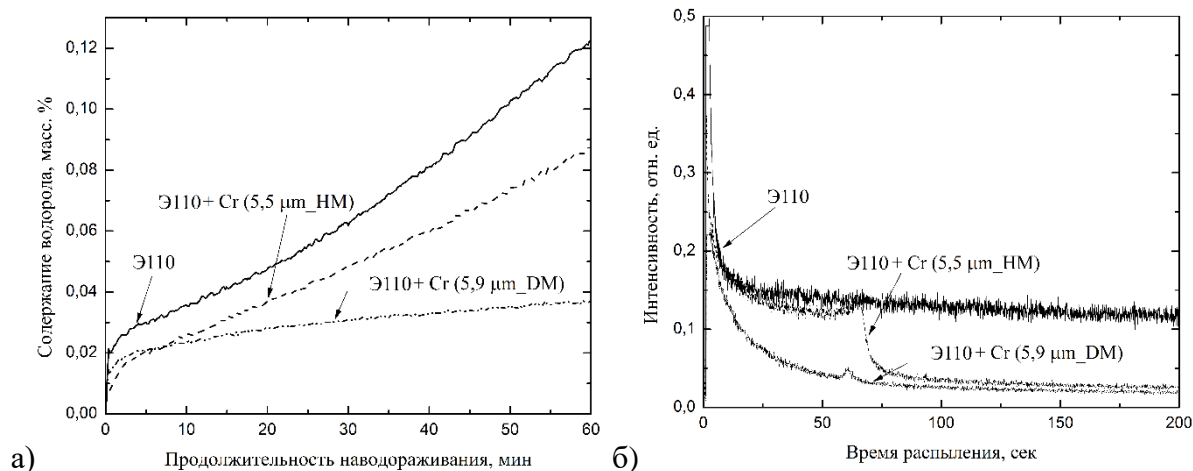


Рис. 1. Кривые сорбции водорода (а) и распределение водорода по глубине (б) в циркониевом сплаве Э110 без и с хромовыми покрытиями с разными типами магнетронного распыления.

На рисунке 1 (б) продемонстрирован график распределения водорода в хромовых покрытиях и циркониевом сплаве Э110. Профилирование по глубине производилось с использованием анода с диаметром 2 мм, мощности радиочастотного источника 20 Вт и давления 650 Па. Как видно из рисунка 1 (б) интенсивность сигналов водорода в образцах согласуются с кривыми сорбции, показанных на рисунке 1 (а). Из рисунка 1 (б) видно, что профили распределения водорода в покрытиях отличаются в зависимости от типа магнетронного распыления, что объясняется формированием различной структуры покрытий и, соответственно, сорбцией водорода. Погрешность прибора для определения скорости сорбции образцов с покрытиями, с учетом одинакового метода нанесения покрытий, но с разными толщинами покрытий, не позволяет установить закономерное влияние толщины покрытия на скорость сорбции. Посчитанные скорости сорбции водорода указаны в таблице 1.

Таблица 1. Скорости сорбции водорода для сплава Э110 без и с Cr покрытиями.

Тип магнетронного распыления	HM	DM	Э110
Толщина покрытия, мкм	2,9-5,5	4,2-9,1	-
Скорость сорбции $\frac{\text{см}^3\text{H}_2}{\text{с}\cdot\text{см}^2} \cdot 10^{-3}$	0,8-1,6	0,4-0,7	2

Таким образом, результаты кривых сорбции водорода и его распределение в хромовых покрытиях на подложке из циркониевого сплава Э110 продемонстрировали влияние режима формирования покрытия на возможности покрытия предотвращать проникновение водорода в подложку.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-79-10116.

Список литературы:

- Zinkle S. J. et al. Accident tolerant fuels for LWRs: A perspective // Journal of Nuclear Materials. – 2014. – Vol. 448, N.(1-3) – P. 374–379.
- Нехин М., Кузнецов А., Шапон П. Спектрометр тлеющего разряда PROFILER-2-мощный аналитический инструмент послойного анализа материалов // Аналитика. – 2012. – Т.5, N.4. – С. 34–43.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСНЫХ СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА GAS REACTION CONTROLLER

Р.Р. Эльман, студент гр. А1-08,

О.В. Семенов, науч. сотрудник,

В.Н. Кудияров, к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел.(9138)-801-428

E-mail: rrel@tpu.ru

В настоящее время водород все чаще стал рассматриваться как альтернативный источник топлива. Прогресс в области альтернативной энергетики на основе водорода связан с разработкой способов накопления и хранения водорода. Среди всего многообразия материалов-накопителей водорода выделяются металл-органические каркасные структуры (metal-organic frameworks, MOFs), обладающие высокой емкостью для хранения водорода, хорошей стабильностью и, что еще более важно, низкой температурой поглощения водорода. Для исследования количества сорбированного водорода, количества циклов введения и вывода водорода, а также для сравнения эффективности поглощения водорода различными металл-органическими каркасными структурами может применяться автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller (GRC). Однако, для возможности измерения сорбционных свойств металл-органических каркасных структур при криогенной температуре необходимо произвести модификацию комплекса и разработать методику измерений. В настоящей работе при помощи разработанной методики и комплекса GRC была получена зависимость содержания водорода от давления для образцов MOF-5, MIL-101, UIO-66 и UIO-66-NH₂.

Эксперименты по изучению процессов сорбции и десорбции водорода для металл-органических каркасных структур проводились следующим образом: путем синтеза с использованием терефталевой кислоты синтезируем необходимый для исследований MOF в виде порошка, затем данный материал засыпался в пробирку и взвешивался. Масса и плотность заносились в программное обеспечение комплекса. Далее образец помещался в тигель для предотвращения попадания в камеру маленьких частиц порошка. Тигель помещался камеру, позволяющую поддерживать высокое давление, а камера подсоединяется к вакуумной системе через специальное переходное устройство, представляющее собой гибкую трубку высокого давления. После этого камера вакуумировалась. Образцы активировались для сорбции водорода в камере при температуре 80 °С. Для осуществления охлаждения камеры и образца до температуры 77 К использовался сосуд Дьюара, наполненный жидким азотом. В процессе охлаждения так же производится непрерывная откачка. Когда на циферблате датчика зафиксирована температура 77К, производится выбор и реализация режима PSI – построение зависимости максимального количества сорбированного/десорбированного водорода от давления в камере при постоянной температуре. Используя данный режим, были получены зависимости сорбированного/десорбированного водорода от давления для MOF-5, MIL-101, UIO-66 и UIO-66-NH₂. После завершения эксперимента производилась откачка водорода из камеры и её нагрев до комнатной температуры.

На рисунке 1 представлены кривые сорбции/десорбции водорода для различных металл-органических каркасных структур. Полученные данные позволяют оценивать и сравнивать металл-органические каркасные структуры. Наибольшее количество водорода при давлении 8,2 атмосфер поглотила структура MIL-101.

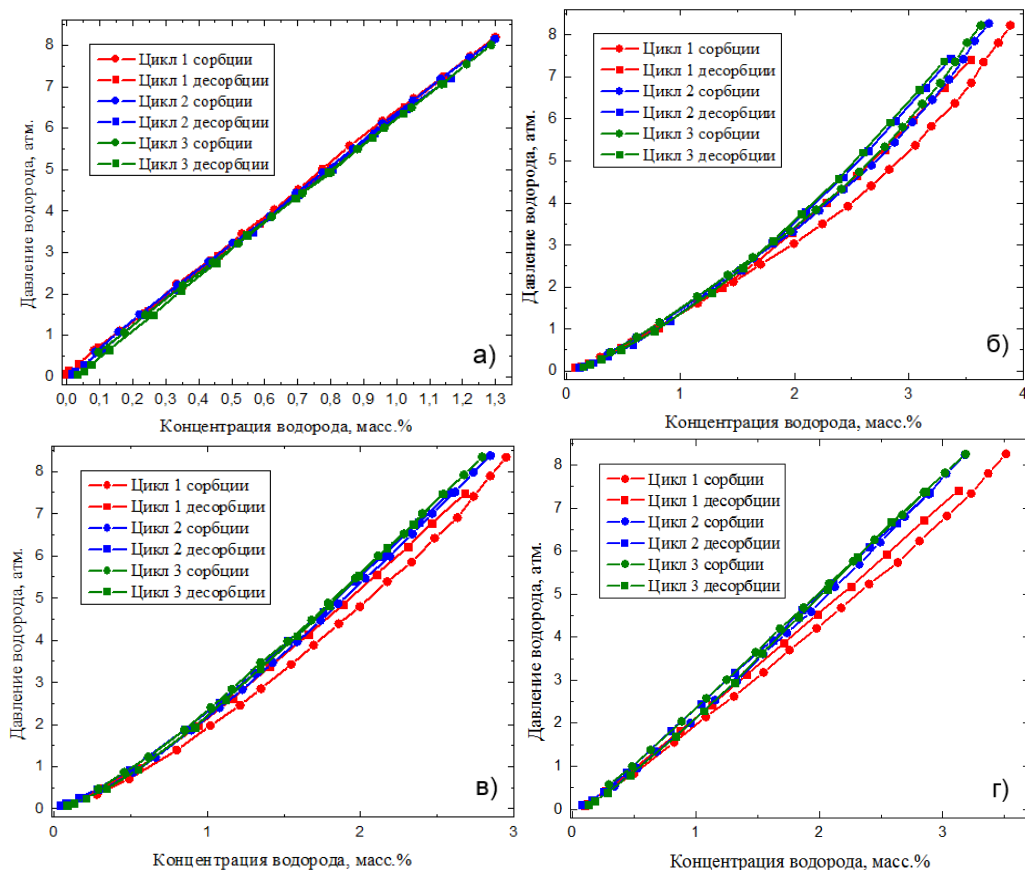


Рис. 1. Графики зависимости количества сорбированного и десорбированного водорода образцами: а) MOF-5, б) MIL-101, в) UIO-66, г) UIO-66-NH₂ от давления в камере

Из приведенных зависимостей видно, что MOF-5 поглотил меньшее количество водорода, нежели MIL-101 и UIO-66, однако данный образец обладает лучшей циклической стабильностью. Максимальная концентрация водорода при давлении 8,2 атмосфер составило 1,3 масс.%. MIL-101 поглотил 3,89 масс.%. Максимальная концентрация водорода для UIO-66 и UIO-66-NH₂ составила 2,95 и 3,51 масс.% соответственно. Полученные данные хорошо соотносятся с результатами, полученными другими авторами. Так, MOF-5 при аналогичном давлении поглощает 1,5 масс.% водорода [1], MIL-101 поглощает 4,6 масс.% [2], а UIO-66 и UIO-NH₂ сорбируют 3,1 масс.% [3] и 2,2 масс.% [4] соответственно. Таким образом, данная методика позволяет изучать металл-органические каркасные структуры при помощи модифицированного для криогенных температур автоматизированного комплекса GRC.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания в рамках научного проекта № FSWW-2021-0017.

Список литературы:

3. Panella B., Hirscher M. Hydrogen physisorption in metal–organic porous crystals // *Advanced Materials*. – 2005. – Vol.17, N.5. – P. 538–541.
4. Rallapalli P. B. S. et al. HF-free synthesis of MIL-101 (Cr) and its hydrogen adsorption studies // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. – 2016. – Vol.35, N.2. – P. 461–468.
5. Zhao Q. et al. Synthesis and hydrogen storage studies of metal– organic framework UiO-66 // *International journal of hydrogen energy*. – 2013. – Vol.38, N.29. – P. 13104–13109.
6. Zlotea C. et al. Effect of NH₂ and CF₃ functionalization on the hydrogen sorption properties of MOFs // *Dalton Transactions*. – 2011. – Vol.40, N.18. – P. 4879–4881.

МИКРОСТРУКТУРА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ПОСЛЕ АРГОНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

*А.Н. Юрченко, старший преподаватель,
Н.С. Менлышева, студент гр. МТО-20-1м
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990,
г.Пермь, Комсомольский пр.,29,
тел.(3422)-198-067
E-mail: nadezhda.menlysheva@yandex.ru*

Титан и его сплавы нашли применение во многих областях науки и техники благодаря уникальным свойствам, таким как малая плотность, высокая коррозионная стойкость, удельная прочность и жаропрочность. Для получения годных деталей необходимо правильно подобрать вид термического воздействия, от которого будет зависеть полученная структура, а от нее уровень механических свойств. Одним из способов обработки материалов является аргоно-дуговая наплавка в защитной атмосфере. Этот способ используется для ремонтных работ эксплуатируемых деталей, а также в динамично развивающихся аддитивных технологиях. Поэтому это легло в основу настоящего исследования.

Исследуемым материалом был выбран титановый сплав ВТ6. Проведен эксперимент по наплавке с помощью дуговой наплавки в защитной атмосфере на деформированную подложку из такого же сплава. Из сплава ВТ6 была изготовлена подложка и проводилась наплавка в пять слоев на оборудование для многослойной дуговой наплавки в камере с контролируемой атмосферой типа ВКС-1. Источник питания Неон ВД-201 АД, сварочный ток 90-140 А, импульс 1,5 Гц, диаметр присадочной проволоки ВТ6 – 1,6 мм. В итоге была получена заготовка высотой в 5 слоев наплавки (рис. 1).

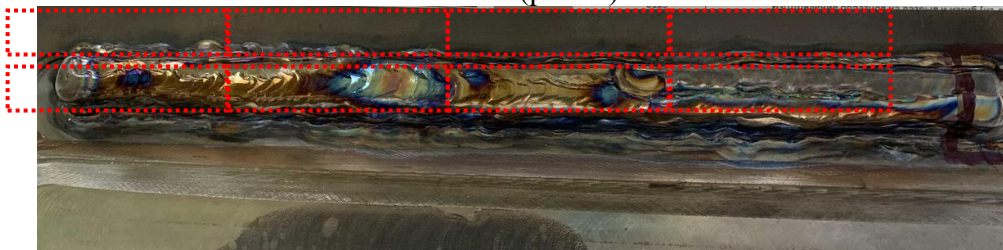


Рис. 1. Общий вид образца (показаны места разрезов).

Анализ структуры титанового сплава проводили с использованием светового микроскопа Olympus GX-51, оснащенного программным комплексом Olympus Stream Motion 1.8. Травление проводили методом погружения в реактиве, состоящем из: 10 см³ фтористоводородной кислоты (ГОСТ 10484-78), 10 см³ азотной кислоты (ГОСТ 4461-77) и 80 см³ дистиллированной воды, температура травления 22°C, время травления 5-10 с. Измерение микротвердости подложки и наплавки проводили на микротвердомере ЛЕКО LM-700 при нагрузке 100.

Полученную наплавленную деталь разделили на четыре равные части (рис.1), две части исследовали непосредственно после дуговой наплавки, на остальных образцах была проведена упрочняющая термическая обработка (закалка 900°C, выдержка 1 час, охлаждение в масле и старение 500°C, 4 часа, охлаждение на воздухе). Из полученных частей были вырезаны ударные (ГОСТ 9454) и разрывные образцы (ГОСТ 1497) вырезанные в продольном направлении наплавки (таблица 1).

В результате микроструктурного анализа выявлено: после наплавки происходит тепловое воздействие по всей толщине наплавки; в результате нагрева деформированная структура подложки исчезает и по мере увеличения наплавленных слоев начинает формироваться типичная структура ($\alpha+\beta$)-сплава, которая состоит в основном из α - и β -фаз. Встречается превращенная β -структура и структура корзиночного плетения, по границам зерен

формируется α -оторочка. В структуре образцов без ТО встречаются участки с глобулярной структурой (рис.2. д). Внутри зерен располагаются произвольно направленные, с различным количеством, в большей и меньшей степени выраженные колонии α -фазы (рис. 2, г, д) [1]. Средний размер зерен находится в диапазоне от 200 до 800 мкм. Минимальный размер зерна наблюдается у края подложки, а максимальный – вблизи зоны сплавления. Размер колоний α -фазы изменяется от 10 до 250 мкм. В образце в зоне сплавления и наплавленных слоях обнаружено некоторое количество микропор (рис. 2, б) диаметром от 9 до 155 мкм. В отличие от подложки в наплавленных слоях зерна имеют преимущественно вытянутую форму. Вблизи зоны сплавления длина зерен находится на уровне 0,25 – 2,0 мм, а ширина – 0,25 -1,0 мм. Увеличение количества слоев наплавки приводит к образованию зерен заметно бóльших размеров, которые достигают 10 мм в длину и 5 мм в ширину. Кроме того, зерна прорастают через слои и вытягиваются в сторону увеличения количества слоев (рис. 2, а).

Таблица 1. Результаты механических испытаний, замеров микротвердости.

Нахождение	Усл.№ образца	ТО	σ_b , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	Ψ , %	КСУ, кгс/см ²	Микротвердость, НV
Подл.	1	Нет	108,2	104,0	12,0	38,7	6,8	356, 350, 352,
Напл.	1-1	Есть	109,0	102,5	5,6	9,0	3,3	403, 406, 397
Подл.	2	Нет	114,0	105,5	10,8	25,8	6,5	337, 357, 358,
Напл.	2-1	Есть	103,4	102,7	1,6	9,0	5,0	392, 390, 391,

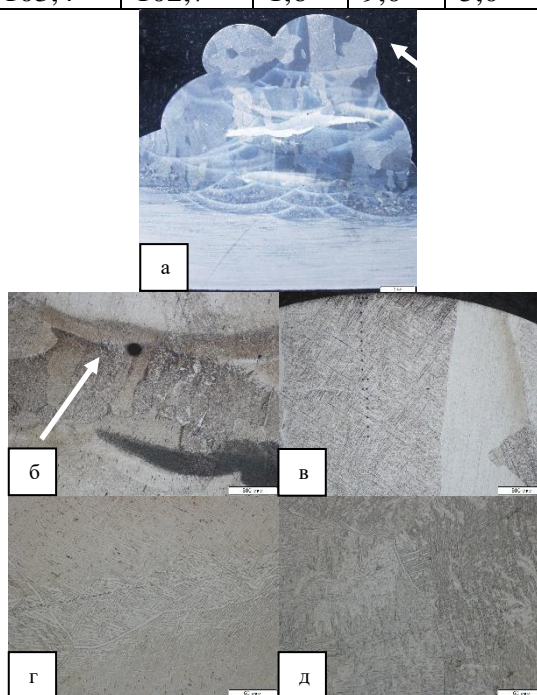


Рис. 2. Микроструктура титанового сплава VT6: а – панорама подложки и слоев; б – микропоры; в – отпечатки микротвердости г - α -оторочка и различно ориентированные колонии α -фазы; д – типичная структура наплавки. Стрелками показаны микропоры.

Для оценки частоты камеры был выполнен замер микротвердости с шагом 0,1 мм (рис.2 в), микротвердость находится на уровне 330-350 НV (табл.1).

В результате исследования получена типичная структура для титанового сплава VT6 после аргоно-дуговой наплавки, улучшение некоторых механических свойств после термической обработки. Присутствие единичных микродефектов в виде микропор в зоне сплавления и наплавки, а также значения микротвердости от последнего слоя говорят о достаточно высоком качестве аргоно-дуговой наплавки титанового сплава.

Список литературы:

1. Аношкин Н.Ф., Бочвар Г.А., Ливанов В.А., Полькин И.С., Моисеев В.Н. Металлография титановых сплавов. М: Металлургия, 1980. 464 с.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОКСИДОВ РЕДКИХ И
РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

*С.Х. Юсуфбеков, студент гр. 4АМ1К,
С.Н. Сорокова, к.ф-м.н.*

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30, ОмШ

E-mail: Shy2@tpu.ru

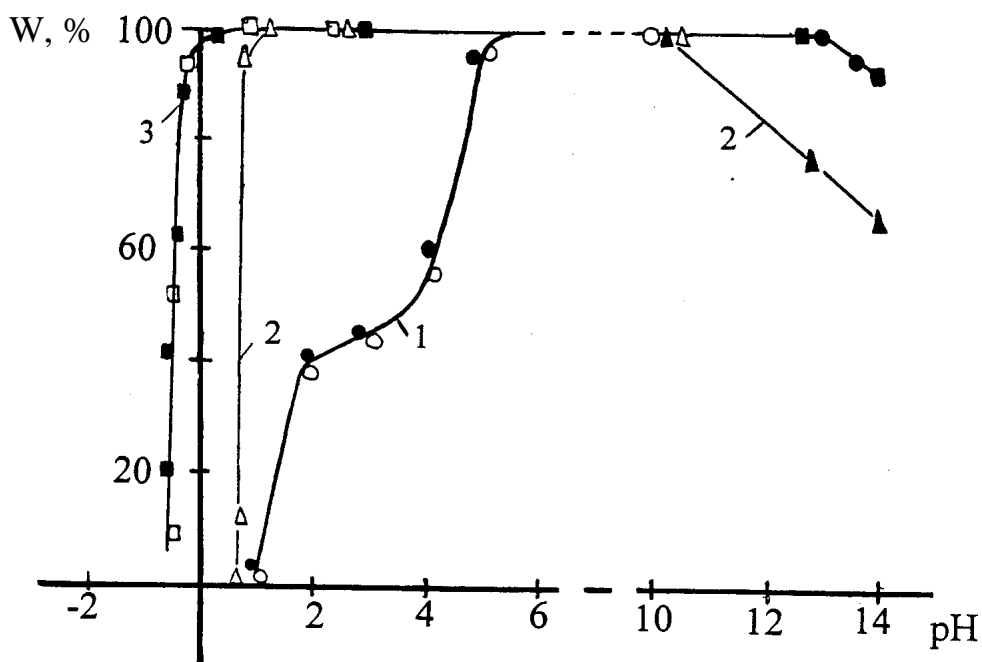
В настоящее время большой интерес вызывает проблема управления функциональными характеристиками материалов на основе оксидов редких и рассеянных элементов в связи с широким применением их в различных отраслях промышленности, и, в частности, связанных с развитием космической и оборонной техники. В основу гидролитического способа приготовления оловосурьмяных оксидных материалов положено совместное осаждение олова (II, IV) и сурьмы (III) из солянокислых растворов водными растворами аммиака или гидроксида натрия. Для контролируемого соотношения компонентов в образующихся осадках были проведены исследования по установлению зависимости степени осаждения (W, %) Sn (II), Sn (IV) и Sb (III) из растворов соответствующих хлоридных солей водными растворами аммиака или гидроксида натрия от величины pH среды и природы щелочного реагента. Результаты данных исследований приведены на рисунке 1.

Из хлоридных растворов с ростом величины pH степень осаждения (W, %) Sn (IV) вначале увеличивается и в области pH 1,0-10,6 составляет 99,9% (остаточная концентрация Sn (IV) в растворе составляет около 35-20 мг/л). Дальнейшее увеличение pH до 14, создаваемое водным 1 М раствором гидроксида натрия, приводит к снижению W до 73-75 % (остаточная концентрация Sn (IV) в растворе достигает значений 9,8 г/л). Это обусловлено характерным растворением в сильнощелочных средах α -оловянной кислоты, с образованием сложных станнатов. Из хлоридных растворов Sn (II) осаждение начинается при значении pH 1,2-1,4. С ростом pH степень осаждения Sn (II) увеличивается и наиболее полное осаждение (99,9 %) достигается в области pH 5,5-13. При избытке щелочного реагента (0,5 М NaOH) степень осаждения Sn (II) снижается до 93-95 %. [1]

Таблица 1. Результаты химического анализа продуктов гидролитического осаждения Sb (III) из растворов хлоридных солей 6 М раствором аммиака. Температура процесса 200С

№ п/п	pH осаждения	Состав продуктов осаждения (по данным РФА)	Содержание в осадке, мас %		Мольное отношение Sb:Cl
			Sb ⁺³	Cl ⁻	
1	1,6	Sb ₄ O ₅ Cl ₂	76,35	11,15	2
2	2,4	x Sb ₄ O ₅ Cl ₂ + y Sb ₂ O ₃	73,55	8,8	2,4
3	3-4	x Sb ₂ O ₃ + y Sb ₄ O ₅ Cl ₂	80,45	8,05	2,9
4	5-6	x Sb ₂ O ₃ + y Sb ₄ O ₅ Cl ₂	80,85	7,45	3,2
5	7	Sb ₂ O ₃	83,25	0,95	-

Рисунок 1 Зависимость степени осаждения W(%) Sn (II), Sn (IV) и Sb (III) из хлоридных растворов от значения pH среды и природы щелочного реагента. 1- Sn (II), 2- Sn (IV), 3- Sb (III). O □ - NH₄OH, □ ▲ □ - NaOH.



Для контролируемого соотношения компонентов в образующихся осадках были проведены исследования по установлению зависимости степени осаждения (W, %) Sn (II), Sn (IV) и Sb (III) из растворов соответствующих хлоридных солей водными растворами аммиака или гидроксида натрия от величины pH среды и природы щелочного реагента. Результаты данных исследований приведены на рисунке 1.

CONTACT DAMAGE RESISTANCE OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS

E. Willert

Technische Universität Berlin, Germany, 10623, Berlin, Straße des 17. Juni 135,

tel. +49 31 314 21494

E-mail: e.willert@tu-berlin.de

Driven by the technological need for greater durability and more flexible use of materials and, last but not least, by the study of solutions that nature has developed in biological tribological systems [1], the mechanics of more complex material classes – such as composite materials, layered media or functionally graded materials (FGM) – receive a high level of scientific attention. As is long known, the use of FGM in tribological systems can be of great advantage, e.g. to increase the resistance to contact, friction and damage [2] as well as to overcome the strength-ductility trade-off in homogeneous materials [3].

Within an FGM, the mechanical properties vary continuously over the volume, the material is inhomogeneous. Examples are hardened surfaces as well as diverse biological and biotechnological systems such as bones, joints or their artificial variants, adhesive devices (e.g. on the feet of geckos) and cell membranes. In contrast to layered media, which are similar in many respects, FGM do not suffer from delamination, thermo-cyclic creep or other failure mechanisms associated with discrete interfaces.

The benefits of FGM in tribological systems have contact mechanical (e.g. the change of the load distribution) and “strictly” tribological (e.g. the change of friction or wear coefficients) origins. To clarify this distinction, the talk will start with a review on recent advances in contact mechanics of FGM. The main effects of positive elastic grading (i.e., from a soft surface to a harder core material), yet without considering tribological effects, in a mechanical contact problem are as follows:

- reduction of stress singularities (e.g. at sharp edges) and maximum stresses
- increase of the maximum pull-off force in adhesive contact
- reduction of the ratio of tangential to normal contact stiffness in tangential contact

Usually, negative elastic grading (i.e., for hardened surfaces) will have the opposite contact mechanical effects.

As a transition in the talk, a topic, which is at the “crossroad” of contact mechanics and tribology, will be considered next: a contact mechanics perspective on fretting wear of FGM [4]. Fretting is a phenomenon in dry mechanical contacts under small amplitude oscillations. The displacement amplitudes are often too small to cause global sliding, i.e., the contacts consist of changing areas of local sticking and slipping/sliding. Fretting causes wear as well as fatigue and, although highly localized, is of enormous importance for the service life of various tribological systems. The contact mechanical analysis of the effect of elastic grading on fretting wear demonstrates, how “tribological” effects, like the reduction of wear volume, can have strictly contact mechanical origins (in the case of fretting wear of FGM, the benefit of the FGM lies in the reduction of the ratio of tangential to normal contact stiffness, which is generally a known design principle to reduce wear; the “principle of a positive hardness gradient” to reduce wear is known since Kragelsky).

In the third part of the talk tribological aspects of FGM are considered. First, gradients in biomaterials will be shown, with special attention to design principles and functionality. The level of perfection nature has reached in the development of FGM after millions of years of evolution, especially regarding multiscale hierarchical design and the integration of multilevel structural or chemical gradients, has inspired many biotechnological and technical applications of structural

gradients and gradient interfaces. As an example (among many others possible) the talk will briefly discuss the characteristics, properties and perspectives of gradient nanostructured metals and alloys.

References:

1. Liu Z., Meyers M.A., Zhang Z., Ritchie R.O. Functional gradients and heterogeneities in biological materials: Design principles, functions, and bioinspired applications // *Progress in Materials Science*. – 2017. – № 88. – pp. 467–498.
2. Suresh S. Graded materials for resistance to contact deformation and damage // *Science*. – 2001. – № 292 (5526). – pp. 2447–2451.
3. Li X., Lu L., Li J., Zhang X., Gao H. Mechanical properties and deformation mechanisms of gradient nanostructured metals and alloys // *Nature Reviews Materials*. – 2020. – № 5. – pp. 706–723.
4. Willert E., Dmitriev A.I., Psakhie S.G., Popov V.L. Effect of elastic grading on fretting wear // *Scientific Reports*. – 2019. – № 9. – 7791. – DOI: 10.1038/s41598-019-44269-1.

**СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

А.В. Авилов, к.т.н., доц.,

Н.В. Авилова, к.т.н., доц.

Донской государственный технический университет, 344000, г. Ростов-на-Дону,

пл. Гагарина, 1

тел.(8632)-738369

E-mail: av170556@rambler.ru

В современном станкостроении растут требования к повышению производительности станков при одновременном повышении их точности и снижении стоимости. Точность обработки на металлорежущих станках определяется влиянием многих факторов: геометрической точности станка и его отдельных узлов (например, шпиндельного узла, приводов продольной и поперечной подачи); точности настройки режущего инструмента; износа режущего инструмента; упругих деформаций технологической системы станок—приспособление—инструмент—деталь; вибраций; температурных деформаций узлов станка, обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. Комплексное воздействие этих факторов существенно влияет на взаимное расположение инструмента и заготовки, на точность механической обработки. Наибольшее значение в повышении точности обработки имеют статические и динамические характеристики узла шпинделя. Поэтому при проектировании шпиндельных узлов необходимо рассчитывать их собственные частоты колебаний и прогнозировать резонансные режимы.

Многие ученые исследовали собственные частоты колебаний шпиндельных узлов. Были применены разные методы исследований. Например, в работах [1-3] представлены экспериментальные исследования по определению собственных частот шпиндельного узла, которые подтверждают его моделирование методом начальных параметров с применением переходных матриц в динамике сложных систем [4].

Цель данного исследования явилось определение собственных частот колебаний шпиндельного узла и прогнозирование резонансных режимов обработки заготовок на станках токарной группы.

Используя чертежи и паспортные данные токарно-винторезного станка повышенной точности 1И611П, определены основные размеры шпиндельного узла, построена его расчетная схема (Рисунок 1). Подшипниковые узлы представлены упругими опорами с жесткостями C_1, C_2, C_3 . Заготовка имеет консольное закрепление в шпинделе, на неё действует сила резания F_y . Расчетная схема узла шпинделя разбита на 17 участков с учетом размеров заготовки, шпинделя, места расположения резца при обработке, места расположения упругих опор.

Рассмотрим поперечные колебания узла шпинделя, в котором установлена заготовка. Заготовка имеет параметры: длина L , масса единицы длины m , изгибная жесткость EJ , коэффициент демпфирования μ . Дифференциальное уравнение поперечных колебаний узла шпинделя имеет вид:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{m}{EJ} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \mu \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

где: y - поперечное перемещение детали, x – относительная координата, t - время.

Используя преобразование Лапласа-Карсона, функции Крылова, принимая обозначения $M(x, p)$ и $Q(x, p)$ для изображений соответственно изгибающего момента и перерезывающей силы, получим уравнение передаточной функции технологической системы при $x = l_1$ в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \tilde{y}(l_1, p) \\ \tilde{y}'(l_1, p) \cdot L \end{bmatrix} = [H_{11}] \cdot [\tilde{y}_{34}]$$

где $[H_{11}]$, $[\tilde{y}_{34}]$ - переходные матрицы .

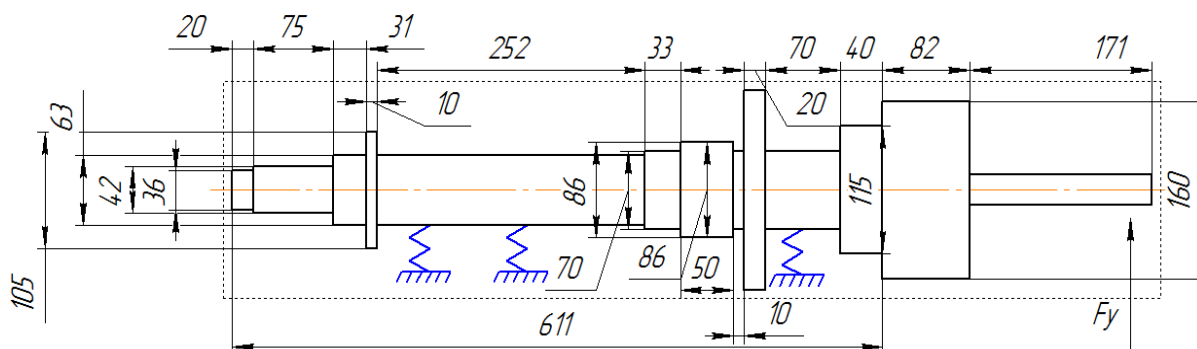


Рис. 1. Схема динамической системы шпиндельного узла станка 1И61П.

Результаты имитационного моделирования собственных частот шпиндельного узла обработки заготовки диаметром 26 мм из стали 3 резцом с вставкой из твердого сплава Т15К6 с подачей 0,21 мм/об, глубиной резания 1 мм, скоростью 60м/мин представлены на рисунке 2.

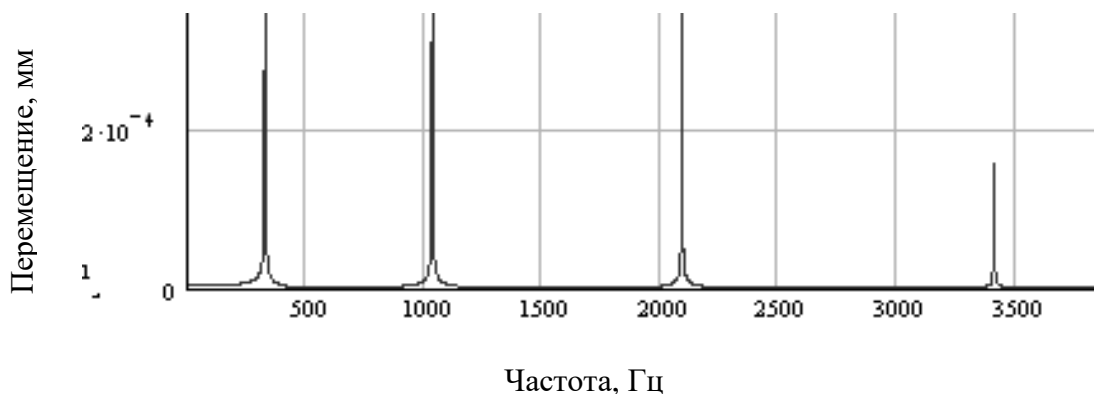


Рис.2. Собственные частоты колебаний шпиндельного узла

Таким образом, Частоты колебаний до 1000 Гц соответствуют колебаниям шпиндельного узла и заготовки, частоты колебаний выше 1000 Гц соответствуют частоте стружкообразования и ее гармоникам.

Список литературы:

1. Авилов А.В. Влияние частотных характеристик технологической системы и износа режущего инструмента на точность токарной обработки: автореф. дис...канд.техн. наук: 05.03.01/Авилов А.В.; ДГТУ.- Ростов н/Д, 2008.-18 с.
2. Авилов А.В., Мирошниченко В.Г. Математическая модель колебаний шпинделя токарного станка с консольным закреплением заготовки// СТИН.-2008.-№9.- с. 2-5.
3. Авилов А.В., Мирошниченко В.Г. Моделирование динамических характеристик технологического оборудования с применением метода начальных параметров/ А.В. Авилов, В.Г. Мирошниченко//Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информатики: сб. научных трудов по материалам Международ.научно-практической конференции.-М:МГУПИ, 2011 г.-С.9-12.
4. Ивович В.А. Переходные матрицы в динамике упругих систем. М.: «Машиностроение», 1969. - 200 с.

РЕГИСТРАТОР ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ РСП-БРУ-01

*С.В. Болотов, к.т.н., доц.,
Белорусско-Российский университет, 212030, г. Могилёв, пр.Мира,43,
тел.+375222-31-06-26
E-mail: s.v.bolotov@mail.ru*

Строгое соблюдение инструкций на технологический процесс сварки является залогом обеспечения высокого качества сварных соединений. Для контроля за параметрами режима сварки производители сварочного оборудования ESAB (Швеция), Fronius (Австрия), Kemppi (Финляндия), EWM (Германия), ИТС (Россия) и др. выпускают регистраторы или автоматизированные системы регистрации сварочных процессов [1]. Регистратор РСП-БРУ-01, разработанный в Белорусско-Российском университете, предназначен для контроля за соблюдением технологии при производстве сварочных работ на объектах повышенной опасности. Регистратор представляет собой программно-аппаратный комплекс, который подключается к сварочному источнику ручной дуговой, полуавтоматической или автоматической дуговой сварки любого производителя и конструктивно содержит три отдельных блока (рис. 1).

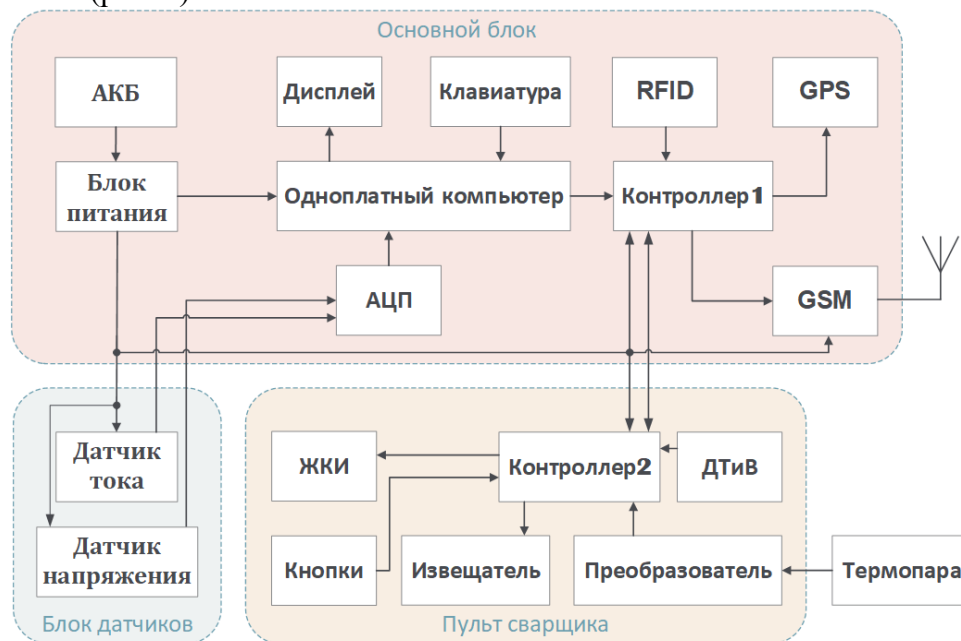


Рис. 1. Структурная схема регистратора сварочных процессов

Основной блок регистратора состоит из одноплатного компьютера, предназначенного для сбора, обработки и хранения данных сварочного процесса; экрана и клавиатуры для ввода и отображения информации; GPS модуля, определяющего местоположение сварочного аппарата; GSM модуля, для связи с сервером; RFID-модуля, осуществляющего идентификацию сотрудников по удостоверению с радиочастотной меткой; аналого-цифрового преобразователя АЦП, выполняющего функцию приёма сигналов от датчиков (рис.1). Управление модулями RFID, GPS, GSM осуществляет контроллер 1, отображение информации на индикаторе ЖКИ. Блок датчиков выполнен в герметичном металлическом корпусе со сквозным отверстием, через которое пропускается силовой кабель со сварочным током. В качестве датчиков используются работающие на эффекте Холла датчик тока LF 1010-S и датчик напряжения LV 25-P / SP5, которые обеспечивают полную гальваническую развязку регистратора со сварочной цепью. Пульт сварщика располагается у места проведения сварочных работ и предназначен для переключения номера сварочных слоёв с

помощью кнопок, контроля температуры и влажности окружающего воздуха (датчик ДТиВ) и температуры предварительного подогрева, температуры тела трубы (межслойной температуры) с помощью термопары, устанавливаемой на поверхности свариваемого изделия. Для оповещения сварщика о нарушениях параметров режима сварки предусмотрен звуковой и световой извещатель. Управление пультом сварщика осуществляет контроллер 2. Питание регистратора производится от адаптера питания ~220 В или аккумуляторной батареи АКБ, встроенной в корпус прибора. Регистратор обеспечивает измерение мгновенных значений сварочного тока в диапазоне от 0 до 500 А с погрешностью до $\pm 1,5\%$, напряжения на дуге (напряжения холостого хода) в диапазоне от 0 до 141 В с погрешностью до $\pm 1,5\%$ и температуры тела трубы в диапазоне от 0 до 300 °С с погрешностью до $\pm 5^\circ\text{C}$.

Регистратор РСП-БРУ-01 интегрирован в автоматизированную систему регистрации сварочных процессов. Передача данных о параметрах режима сварки на сервер, связь с базой данных руководителей сварочных работ, сварщиков, сварочного оборудования, инструкций на технологический процесс сварки, заданий на сварку, осуществляется посредством GSM связи. Текущее состояние каждого сварочного аппарата и его местоположение на карте отслеживается по GPS координате через web приложение. Сварщик получает с сервера на регистратор требуемые к установке на сварочном аппарате параметры режима. В процессе сварки регистратор отслеживает их соответствие установленным границам и сигнализирует в случае выхода за пределы. Регистратор позволяет определить динамические параметры процесса, связанные с переносом электродного металла при сварке, которые характеризуют стабильность процесса. Частота сбора данных при этом составляет 10-20 кГц, а в качестве критерия оценки стабильности процесса используется гармонический состав сварочного тока [2,3]. Отличительной особенностью разработанного регистратора РСП-БРУ-01 является возможность выставления комплексной оценки сварщику и сварочному оборудованию по результатам сварки каждого прохода, а также получение отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования [4]. На каждый сварной стык системой формируется паспорт, в котором отражена информация об исполнителях сварочных работ и области распространения их квалификации, сварочном оборудовании и его аттестации, сварочных материалах, инструкциях на технологические процессы сварки и допусках на контролируемые параметры, приведены осциллограммы сварочного тока и напряжения на дуге, температура предварительного подогрева, межслойная температура, комплексная оценка сварки.

Список литературы:

1. ИТС: официальный сайт / Регистратор параметров сварочных процессов РСП-102Д, http://www.npfets.ru/catalog/ets/prochee/registratoru/registrator_parametrov_svarochnuh_processov_rsp_102d/ (дата обращения: 10.09.2021).
2. Болотов, С.В. Информационно-измерительный комплекс для исследования процессов плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке / С.В. Болотов, А.В. Хомченко, А.В. Шульга, Е.Л. Болотова // Вестник Брянского государственного технического университета. - Брянск, БГТУ, 2020. № 6(91). - С.4-11.
3. Bolotov S.V. Investigation of the Criteria for Evaluating Electrode Metal Transfer in Short Circuit Gas-Shielded Arc Welding [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2021. - №1118. - P.0120003. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1118/1/012003/pdf>
4. Болотов, С.В. Интеллектуальная система контроля сварочных работ / С.В. Болотов, К.В. Захарченков, Е.В. Макаров, В.А. Фурманов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сборник научных трудов X-й Международной научно-технической конференции (ИММВ-2021, Коломна, 17-20 мая 2021 г.). В 2-х томах. Т2. – Смоленск: Универсум, 2021. – С. 369-379.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОЛЕЗВИЙНЫМИ ФРЕЗАМИ

Ю.И. Гордеев, к.т.н., доц., В.Б. Ясинский, к.т.н., доц.

М.С. Вакулин, аспирант, С.В. Филиппов, магистр

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, г.Красноярск, пр.Свободный, 79
тел.(391)-245-75-55*

E-mail: tms-mtf@rambler.ru

Приведенные в работах [1-4] данные свидетельствуют о преимущественных отличиях высокоскоростной обработки многолезвийными сложнопрофильными фрезами, но одновременно, и о существующих проблемах описания процессов формообразования и проектирования такого инструмента для их реализации.

Используя аналитические подходы в сочетании с методами конечно-элементного анализа можно определять минимальную толщину срезаемого материала, удельные нагрузки, размеры стружки и обосновать рациональные режимы резания и геометрию инструментов. Поэтому разработка новых конструкций фрез и методов численной оценки деформационных процессов в срезаемом слое на основе метода конечно-элементного анализа (FEA) является актуальной и практически значимой задачей.

Целью данного исследования является моделирование и оптимизация геометрии многолезвийных фрез для повышения производительности и качества обработки.

Принято считать, что удельное усилие резания является наиболее важным параметром, влияющим на эффективность и качество поверхности заготовки при высокоскоростной обработке. Поэтому, первым этапом исследований было моделирование новой конструкции фрезы с увеличенным количеством режущих кромок, единичных циклов срезания по сравнению с аналогами, что означает, что удельная сила резания на каждой кромке зуба будет минимизирована, а профиль обрабатываемой поверхности будет иметь пониженное значение шероховатости.

Поскольку, известные традиционные аналитические расчетные модели [1] не учитывают повышенную интенсивность деформационных процессов, характер распределения нагрузки и численных значений удельных сил резания, то адекватную оценку этих факторов производили с помощью метода конечно-элементного анализа. Расчеты проводились в САЕ пакете ANSYS Workbench версии 2019. Ниже представлены результаты расчетов. Сравнительные расчеты FEA производились для трех конфигураций фрез. При этом задавались следующие режимы резания: скорость резания $v = 125 \text{ м/мин}$, число оборотов шпинделя $n = 4000 \text{ об/мин}$ (для фрезы диаметром $D = 10 \text{ мм}$); подача на оборот $f_n = 0.15 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$. $a_p = 8 \text{ мм}$ и $a_e = 9.5 \text{ мм}$ глубина и ширина резания соответственно.

Серия численных экспериментов с использованием FEA позволила определить напряжения и деформации в слое срезаемого материала при обработке на многолезвийных фрезах нового типа), то есть косвенно оценить удельные нагрузки в процессе фрезерования. Кроме того, данные расчета позволяют прогнозировать форму и размер стружки, которые могут появиться при обработке новой фрезой (рис. 1а).

Графическое представление процессов деформации иллюстрирует кинематику и последовательность процесса срезания слоя материала. Исследования, основанные на МКЭ, показывают, что удельная нагрузка при использовании геометрии новой фрезы уменьшается, тогда как максимальные значения напряжений, возникающих на поверхности заготовки и режущей части инструмента, не превышают 500-700 МПа (рисунок 1 б, в). В этом случае максимальные значения напряжений концентрируются в тонком поверхностном пограничном слое. Материал не режется (в отличие от стандартного фрезерования), а измельчается и удаляется из зоны резания в виде микрочастиц.

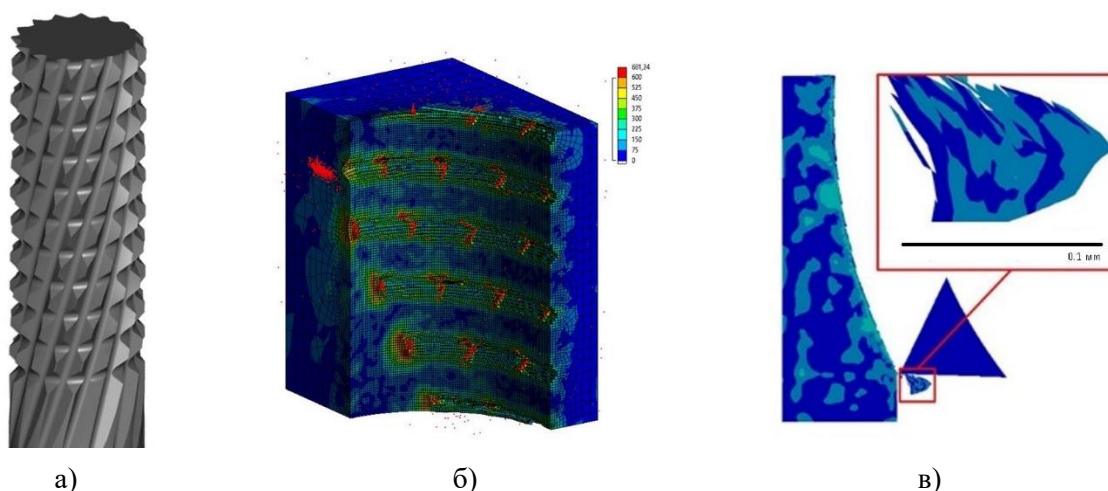


Рис. 1. Модель фрезы (а) и результаты расчета: (б) – схема резания и напряжения в зоне контакта; (в) – единичный цикл резания зубом фрезы и фрагмент формирования стружки

В качестве основных параметров для сравнительной экспериментальной проверки результатов расчетных исследований использовались значения шероховатости обработанной поверхности и морфология стружки, полученной в процессе резания алюминиевых сплавов. Показано, что наряду с улучшенным качеством обработанной поверхности изменяется форма и размеры стружки. Размеры элементов (фрагментов стружки) изменяются в диапазоне от 0,5 до 2 мкм. Это хорошо согласуется с результатами численных оценок методом ФEA. Кроме того, расчетами подтверждено повышение производительности в 2 раза, а измеренная шероховатость поверхности уменьшилась в 2,5 раза (по сравнению с аналогами). Дополнительные исследования кинематики позволили также оценить влияние режимов резания, геометрических параметров режущей части инструмента (профиль и количество зубьев), кинематики относительного перемещения в системе «инструмент – заготовка» на отклонения формы обработанных поверхностей при фрезоточении. Была показана возможность получения различных профилей поверхности детали с высокой точностью за счет управления режимами и кинематическими параметрами резания.

Список литературы:

1. Воронцов А.Л. Проблемы теории и практики резания материалов: серия статей / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, А.Ю. Албагачиев. – Москва: Вестник Машиностроения, 2008. – ISSN 0042-4633. – 98 с.
2. Vogler M P, Devor R E, Kapoor S G On the modeling and analysis of ma-chining performance in micro-end milling Part I: Surface generation (J. Manuf. Sci. Eng 126) (2004) pp 685–694.
3. Brandao de Oliveira F, Rodrigues A R, Coelho R.T, Fegali de Souza A Size effect and minimum chip thickness in micro milling International Journal of Machine and Manufacture 89 (2015) pp 39-54.
4. Masatoshi Itoh, Takehiro Hayasaka, Eiji Shamoto High-efficiency smooth-surface high-chatter-stability machining of thin plates with novel face-milling cutter geometry Precision Engineering 64 (2020) pp 165–176.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЗДАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ЗАДАННОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЕ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.С. Дорофеева, студент гр. 282109

Томский государственный университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,36,
тел.(3822)-529-772

E-mail: dorofeevatomsk13@gmail.com

На сегодняшний день существует вопрос создания такого оборудования, которое позволяло бы на основе моделирования структуры в промышленном масштабе производить биологически активные вещества для фармацевтической промышленности.

Большинство N-бензгидрилформамидов и N-бензгидрилмочевин обладают подтверждённой биологической активностью, включающей в себя как противосудорожные [1] [2], так и ферментиндуцирующие [3] и антибактериальные [4] свойства. В настоящее время существует вопрос, связанный с расширением области применения N-бензгидрилформамидов и N-бензгидрилмочевин.

Известно, что вид и сила биологической активности напрямую зависит от конформационных особенностей молекул. Наиболее точным методом моделирования структуры молекулы является оптимизация путём квантово-химических расчётов.

Целью работы являлось моделирование структурных особенностей N-бензгидрилформамидов и N-бензгидрилмочевин для использования этих расчётов в проектировании технологического оборудования.

В настоящем исследовании для расчёта оптимальных геометрических характеристик ряда молекул орто-замещённых N-бензгидрилформамидов и N-бензгидрилмочевин были использованы программы Gaussian и GaussView [5][6]. Проводилось моделирование условий растворителя ДМСО. Исследование позволило установить зависимость изменения сдвигов в спектрах ЯМР описанных молекул от изменения заместителя, а также найти ряд закономерностей изменения структуры молекул от объёма вводимых заместителей.

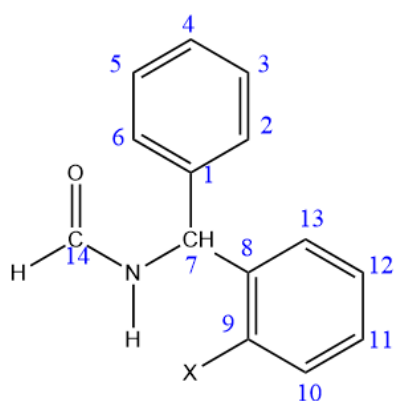


Рис. 1. Орто-замещённые производные N-бензгидрилформамида, где X= H(1), F(2), Cl(3), Br(4), CH₃(5)

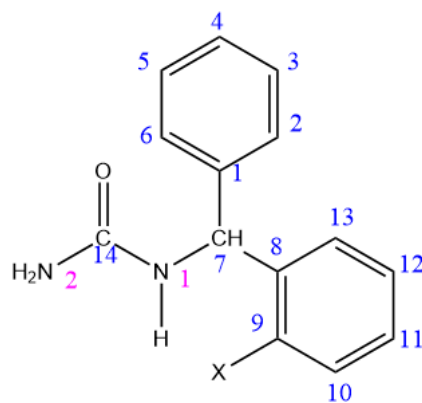


Рис. 2. Орто-замещённые производные N-бензгидрилмочевины, где X= H(6), F(7), Cl(8), Br(9), CH₃(10)

В результате моделирования показана тенденция молекул занимать наименьший объём в растворе вне зависимости от заместителя.

Для угла N-C14-O орто-замещённых N-бензгидрилформамидов и углов C1-C7-H, C7-N-C14 и N-C14-O N-бензгидрилмочевин обнаружена прямая зависимость от объёма вводимых заместителей на примере галоген-замещённых производных.

В ходе проведения корреляционного анализа рассчитанных геометрических параметров с экспериментальными данными ЯМР для орто-замещённых биологически активных N-бензгидрилформамидов и N-бензгидрилмочевин найдены зависимости химических сдвигов от структурных параметров этих соединений.

Для N-бензгидрилформамидов выявлено, что наиболее чувствительными к изменению структуры являются протонные сдвиги NH, CH, CON в порядке понижения чувствительности. Обнаружена различная корреляция химических сдвигов со структурными элементами замещённого и незамещённого кольца. А именно. Сдвиг по CON реагирует изменением непосредственно на изменения в замещённом кольце, то есть, имеет хорошую корреляцию как с углами C8-C7-H и C8-C7-N в отличие от смежных с ними углов, так и со связью C7-C8 в отличие от связи C7-C1.

Установлено, что любые изменения молекул больше сказываются на размерности валентных углов, нежели на длинах связи.

Проведены расчёты для последующего проектирования технологического оборудования с целью получения органических веществ с заданными свойствами.

Такие расчёты могут быть использованы в фармацевтической промышленности при производстве органических веществ на специальном технологическом оборудовании, включающем блок компьютерного программирования и блок контроля *in situ* параметров веществ.

Список литературы:

1. Пат. №1829341 Рос. Федерация МПК C07C 275/50; A61 K31/17; A61P 25/08. Галогензамещённые N-бензгидрил-N'-(трифторацетил)мочевины, проявляющие противосудорожную активность: заявл. 1991-01-03: опубл. 1996-08-27/ Бакибаев А.А., Горшкова В.К., Штрыкова В.В., Тигнибидина Л.Г., Саратиков А.С., Филимонов В.Д., Подтеребина Т.В., Крюкова Е.В., Крауиньш М.П.; заявитель Научно-Исследовательский Институт Фармакологии Томского Научного Центра АМН СССР, Томский политехнический институт им.С.М.Кирова. – 4 с.: ил.

2. Пат. №790627 СССР, МПК C07 C103/76; C07 C103/375; A61 K31/16. Фторзамещённые N-бензгидрилформамиды, проявляющие противосудорожную активность: заявл. 1979.07.17: опубл. 1983.06.30/ Краснов В.А., Печенкин А.Г., Горшкова В.К., Саратиков А.С.; заявитель Томский ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт им.С.М.Кирова. – 4 с.: ил.

3. Пат. №2030396 Российская Федерация, МПК C07 C275/24 [N,N'-ди(бензгидрил)-N-(трифторацетил)мочевины, проявляющие противосудорожную и ферментиндуцирующую активность: заявл. 1992.05.28: опубл. 1995.12.20/ Бакибаев А.А., Горшкова В.К., Штрыкова В.В., Тигнибидина Л.Г., Саратиков А.С., Филимонов В.Д., Подтеребина Т.В., Крюкова Е.В., Крауиньш М.П., Ахмеджанов Р.Р., Новожеева Т.П.; заявитель Томский политехнический институт им.С.М.Кирова. – 4 с.: ил.

4. Umadevi Parimi. Synthesis and in-vitro antibacterial activity of some new urea, thiourea and thiosemicarbazide derivatives. / Umadevi Parimi, Kolli deepthi, Indumathi Srinath. // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences 4, №13, 2012. – 523-527с.

5. Серба П.В., Квантово-Химические Расчёты В Программе Gaussian./ Серба П.В., Мирошниченко С.П., Блинов Ю.Ф. – Таганрог: Технологический Институт Южного Федерального Университета В Г. Таганроге. – 2012. – 90 с.

6. James V. Foresman. Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods. Gaussian Inc. – 1996. – 302 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

*И.А. Кремлёв, аспирант гр. А9-36,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел. (3822) 60-63-33
E-mail: iak40@tpu.ru*

Своевременное выполнение инженерных изысканий является особо важным при обустройстве нефтегазовых месторождений. Помимо этого, необходимо уделить внимание снижению затрат и повышению экономической эффективности обустройства [1]. В современных реалиях затруднительно обойтись без внедрения современной технологической инфраструктуры и автоматизации процесса инженерных изысканий, в том числе и с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Одним из главных трендов в области робототехники является комбинирование роботизированных систем с разной степенью автономности функционирования. Подобные комплексы называют гетерогенными. Чаще всего при использовании гетерогенных комплексов используют одновременно воздушные и наземные роботизированные системы. Подобная комбинация носит синергетический эффект и позволяет расширить сенсорные и функциональные возможности при съемке местности.

Одной из ключевых проблем при подобном взаимодействии является повышение автономности роботизированных систем. Обслуживание систем энергопитания беспилотного летательного аппарата требует временных и экономических расходов. В этой связи необходимо реализовать активное взаимодействие между гусеничной наземной платформой и беспилотным летательным аппаратом. Трудность решения подобной задачи состоит в реализации алгоритмов посадки, фиксации и зарядки аккумуляторов летательного аппарата. Помимо этого, необходимо реализовать наиболее оптимальный маршрут движения гусеничной платформы для посадки БПЛА [2].

Автоматизация процесса пополнения энергоресурсов беспилотного летательного аппарата посредством гусеничной платформы позволяет увеличить время работы БПЛА и повысить объем решаемых задач без участия человека. Данная задача в настоящее время является предметом исследования ряда научных российских и зарубежных коллективов.

Стоит отметить, что разработка автоматизированных систем для зарядки БПЛА наиболее актуальна при выполнении аэрофотосъемки труднодоступных и удаленных территорий, при которых большая часть энергоресурсов тратится на полет к заданной области. В таком случае беспилотные летательные аппараты могут пополнять заряд аккумулятора и работать в непрерывном режиме до окончания ресурсов гусеничной платформы [3].

При выполнении инженерных изысканий использование гетерогенных робототехнических комплексов дает ряд преимуществ. На небольшой площади эффективнее использовать традиционную геодезическую съемку, для площадных объектов (в том числе для выполнения реконструкции) рациональней применять БПЛА вертолетного типа [4], а для линейных объектов или месторождений наибольшей экономической эффективности можно добиться путем съемки БПЛА самолетного типа (таблица 1).

Таблица 1. Эффективность использования БПЛА.

Тип объекта	Площадь съемки, га	Традиционная геодезическая съемка	Аэрофотосъемка с БПЛА вертолетного типа	Аэрофотосъемка с БПЛА самолетного типа
Площадный объект (в том числе реконструкция)	До 100	Эффективна на небольшой площади	Эффективна	Низкая эффективность
Линейный объект	От 500 до 5000	Низкая эффективность	Низкая эффективность	Эффективна
Месторождение	От 5000	Низкая эффективность	Низкая эффективность	Эффективна

Беспилотные летательные аппараты в настоящее время активно используются для проведения инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях. Комбинированная работа БПЛА и роботизированных гусеничных платформ позволяет существенно увеличить продолжительность их работы.

Уже разработанные прототипы гетерогенных робототехнических систем отличаются скоростью обслуживания, сложностью внутренних узлов конструкции, а также алгоритмами совместной работы при посадке БПЛА на платформу и заряду аккумуляторов. Для этого используется значительное количество сенсоров, систем навигации и методов анализа окружающей территории.

В ходе выполнения работы был проведен анализ требований к обслуживанию аккумуляторов беспилотного летательного аппарата при взаимодействии с гусеничной наземной платформой, определены классы зарядных станций аккумуляторов. Была составлена концептуальная модель системы управления гетерогенных роботизированных комплексов и проанализирована экономическая эффективность от применения БПЛА для разных типов объектов при обустройстве нефтегазовых месторождений.

Список литературы:

1. Кремлев И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне – Томск, 2020. – Том № 2. – С. 185 – 186.
2. Попова Л.Н. Применение беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера//Молодой ученый. – Казань, 2016. – № 24. – С. 105 – 108.
3. Прокопьев И.В., Бецов А.В. Структура системы управления беспилотных летательных аппаратов специального назначения//Надежность и качество. – Пенза, 2012. – № 1. – С. 15 – 20.
4. Саяпова В.В., Уразбахтин Р.Р. Мониторинг химических объектов с помощью беспилотных летательных аппаратов//Современные научные исследования и разработки. – Астрахань, 2017. – № 4. – С. 260 – 262.

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ВИБРОГАСИТЕЛЯ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

*М.А. Кузнецов, магистрант гр. 4НМ01,
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел. (3822)-606-333
E-mail: bb1998boss@mail.ru*

Существенное влияние на процесс работы различного технологического оборудования оказывает вибрация. При определенных значениях параметров вибрации работоспособность технологического оборудования значительно снижается.

Существуют следующие виброзащитные системы: пружинный виброизолятор с демпфером, динамический виброгаситель и виброгаситель с квазинулевой жесткостью. Рассмотрим каждый вид системы подробнее.

Виброзащитные системы, такие как пружинный виброизолятор с демпфером и динамический виброгаситель относятся к пассивным виброзащитным системам.

Виброзащитная система - пружинный виброизолятор с демпфером имеет недостаток, связанный с невысокой надежностью, из-за неустойчивых продольно сжатых стержневых систем.

Виброзащитная система - динамический виброгаситель имеет недостаток, узкий диапазон демпфируемых частот и отсутствие регулировки на частоту возмущающего воздействия.

Рассматривая эти виброзащитные системы были выявлены недостатки, такие как узкий диапазон демпфируемых частот и отсутствие регулировки на частоту возмущающего воздействия. В следствии чего эффективность демпфирования колебаний, а также область применения рассматриваемых виброзащитных систем уменьшаются.

Общим недостатком рассмотренных виброзащитных систем является отсутствие регулировки на частоту возмущающего воздействия. Это может стать причиной возникновения резонанса.

Рассмотрим виброгаситель с квазинулевой жесткостью. Рассматриваемая виброзащитная система относится к активным виброзащитным устройствам.

Существенным недостатком пассивных виброзащитных систем является отсутствие гашения вибрации на резонансных частотах. В связи с этим недостатком наиболее предпочтительно применение активных виброзащитных устройств, у которых существует возможность регулировать параметры жесткости виброзащитной системы.

На данный момент актуальна задача, создание виброзащитной системы минимальных размеров, с минимальным количеством деталей и узлов, с высокой степенью надежности в резонансном режиме и малой жесткостью, которая эффективно демпфирует вибрации, излучаемые источником.

Решение поставленной задачи достигается за счет применения виброзащитной системы с квазинулевой жесткостью.

Для расчета параметров вибрации виброгасителя с квазинулевой жесткостью представлена методика расчета параметров системы.

Для виброзащитной системы собственная частота колебаний определяется по формуле (1):

ω_0 - собственная частота колебаний виброзащитной системы.

$$\omega_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{M}} \quad (1)$$

Затем по формуле (2) определяем значения виброперемещения виброзащитной системы.

$$X = A \cdot \sin(t \cdot \omega) \quad (2)$$

На рисунках (Рис.1, Рис.2) построены графики виброперемещения для виброгасителя с квазиулевым жесткостью и пассивной виброзащитной системой.

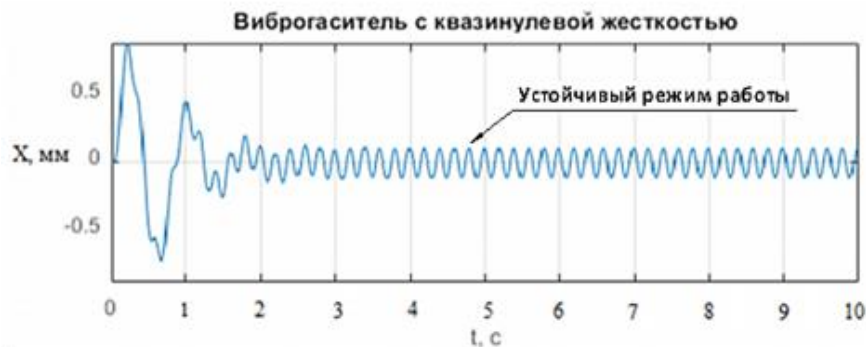


Рис.1. График зависимости виброперемещения от времени, при применении виброгасителя с квазиулевым жесткостью.

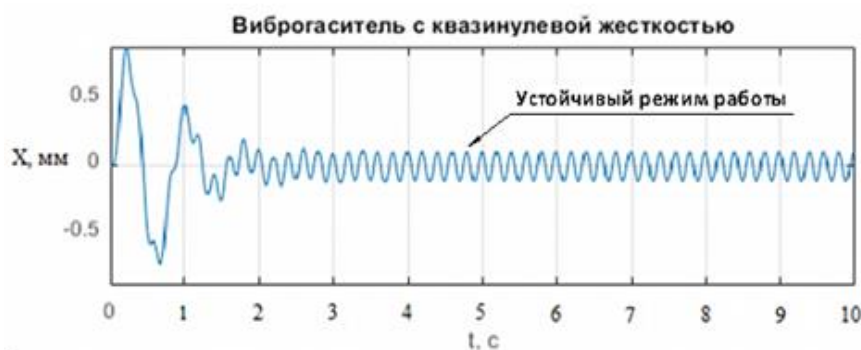


Рис.2. График зависимости виброперемещения от времени, при применении пассивной виброзащитной системы.

Рассматривая графики (Рис.1 и Рис.2) видно, что значения виброперемещения при использовании виброгасителя с квазиулевым жесткостью (Рис.1) значительно снижаются на устойчивом режиме, по сравнению со значениями виброперемещения при использовании пассивной виброзащитной системы (Рис.2). Таким образом регулируя параметры жесткости виброзащитной системы, достигается демпфирование вибрации на резонансных частотах.

Таким образом, в представленной статье выявлены недостатки существующих виброзащитных систем, такие как узкий диапазон демпфируемых частот и отсутствие регулировки на частоту возмущающего воздействия. Выявленные недостатки устраняются в результате применения виброгасителя с квазиулевым жесткостью, за счет изменение параметров жесткости виброзащитной системы. Представлены расчеты параметров виброгасителя с квазиулевым жесткостью.

Эффективность применения виброгасителя представлена на графиках (Рис.1, Рис.2). На графике (Рис.1) видно, что значение виброперемещения виброгасителя с квазиулевым жесткостью на устойчивом режиме работы значительно меньше, по сравнению со значением виброперемещения пассивной виброзащитной системой (Рис.2). Таким образом регулируя параметры жесткости виброзащитной системы, достигается демпфирование вибрации на резонансных частотах.

Список литературы:

1. Патент 2016129224 Российская Федерация, МПК F16F 15/00.
2. Патент 2101581 Российская Федерация, МПК F16F15/02.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

3. Сравнительный анализ виброзащитных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vibro-lab.ru/sravnit-vibroizolyatori> (дата обращения 22.09.2021).

УСТАНОВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ РЕЖИМОВ ОДНО-ДУХ- ЦИКЛОВОГО ДОРНОВАНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТОРЦЕВЫХ ДЕФЕКТОВ

*С.Г. Кулеш, студент гр. 4АМ01, И.А. Лысак, к.т.н., доц. ОмШ
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: sgk8@tpu.ru*

В современном машиностроении постоянно повышаются требования к точности деталей, имеющих цилиндрическую форму рабочей поверхности. К таким деталям относятся втулки, являющиеся одними из самых распространённых деталей машин. Как правило, внутренняя цилиндрическая поверхность обрабатывается с большей сложностью, чем наружная. Использование дорнования в качестве завершающей технологической операции обработки отверстия позволяет сделать деталь более точной и технологичной. Диаметр отверстия при этом несколько увеличивается за счет пластических деформаций. Деформированный слой металла получает упрочнение, поверхностные неровности сглаживаются, точность обработанного отверстия повышается [1]. В то же время при дорновании отверстий, например, у втулок с толстыми стенками возникает смещение металла вследствие пластической деформации. Это приводит к образованию наплывов на торцах втулки, которые могут препятствовать использованию втулки по назначению (рис. 1).

Таким образом, представляется целесообразным исследование динамики образования наплывов у торцов толстостенных втулок в зависимости от таких параметров, как отношение диаметров отверстия и внешней поверхности втулки, размера натяга, зависящего от диаметра дорна относительно отверстия втулки и количества циклов прохождения дорна через отверстие методами численного эксперимента.

Напряженно-деформированное состояние втулки рассчитывалось в приближении теории малых перемещений, дополненной мультилинейной моделью кинематического упрочнения материала. Упругое поведение материала описывалось линейной моделью. Инерционные явления не рассматривались. Задача решалась в квазитрёхмерной постановке с использованием модуля Static Structural комплекса инженерного анализа ANSYS. Рассматривался 30° сегмент втулки и дорна с граничными условиями осевой симметрии. Дорн $\varnothing 5,17$ мм с углами конусов 6° перемещался через отверстие втулки $\varnothing 5$ мм длиной 10 мм, установленной на опоре, со скоростью 8 мм/с (рис. 2). Материал втулки – Сталь 50, дорна – сплав ВК8. Статическая задача решалась для каждого шага по времени. Регистрировались остаточные напряжения вдоль координатных осей (σ_x , σ_r , σ_θ) в продольном сечении втулки. Верификация математической модели осуществлялась путем сравнения результатов расчета с величиной окружных остаточных напряжений (σ_θ), определенных экспериментально

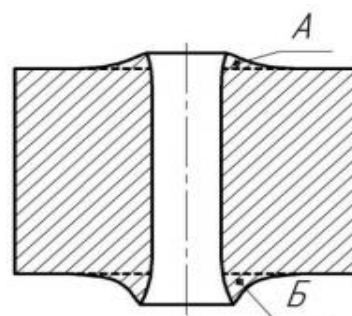


Рисунок 1 - Схема наплывов металла на торцах заготовок, обработанных дорнованием:
А – входной торец;
Б – выходной торец

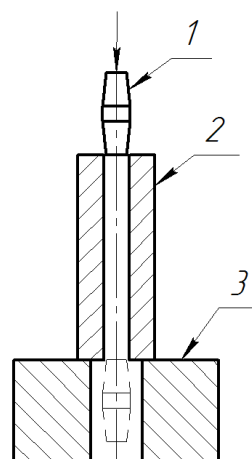


Рисунок 2 – Схема модели и направление движения дорна:
1 – дорн; 2 – втулка;
3 – опора

методами Г. Закса [2] и Н.Н. Давиденкова [3] и представленными в работе [4]. Результаты представлены на рис. 3.

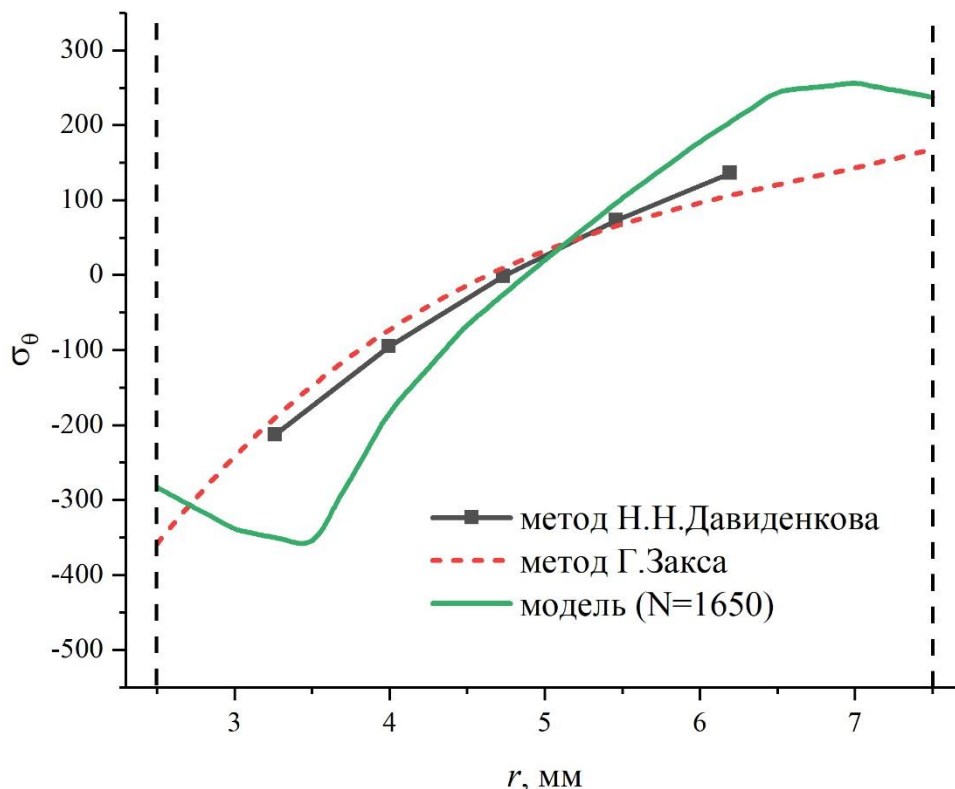


Рисунок 3 – Распределение окружных остаточных напряжений в сечении втулки

Из графиков видно, что результаты расчета с использованием сеточной модели втулки размерностью $N=1650$ элементов и экспериментов имеют хорошую корреляцию, что позволяет сделать заключение о правомерности принятых допущений и корректности выбранной расчетной стратегии.

Полученные результаты подтверждают возможность обоснованного использования численного эксперимента для установления рациональной области режимов одно-двухциклового дорнования толстостенных цилиндров с целью минимизации возникновения торцевых дефектов на основе анализа их напряженно-деформированного состояния.

Список литературы:

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Гриценко Э.И. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием. – Киев: Наукова думка, 1977. -187 с.
2. Sachs G. The determination of residual stresses in rods and tubes // Z. Metallkunde. 1927. Т. 19, №. 9. P. 352-357.
3. Davidenkov N.N. On the measurement of residual stresses // Industrial laboratory. Materials diagnostics. 1950. Т. 16, № 2. P. 188.
4. Сковрцов, В. Ф. Применение метода Н. Н. Давиденкова для оценки окружных остаточных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах / В.Ф. Сковрцов, А. Ю. Арляпов, А. О. Бознак, И. И. Оголь // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 4. – С. 65-70.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

*А.С. Кучеров, к.т.н., доц.,
Самарский национальный исследовательский университет,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,
тел. (486)-267-4416
E-mail: alexandersk@mail.ru*

Непрерывное совершенствование служебной и целевой бортовой аппаратуры современных комических аппаратов (КА) как в отношении надежности, так и в отношении общего числа решаемых задач требует и соответствующего усложнения ее аппаратно-программного построения. В связи с этим возрастает актуальность создания эффективных средств контроля и диагностирования нештатных ситуаций и их парирования бортовым комплексом управления.

В настоящее время задача диагностики и управления техническим состоянием в большинстве случаев реализуется в наземном комплексе управления. Таким образом, между моментом возникновения нештатной ситуации и моментом выдачи управляющих воздействий на ее парирование возможен большой промежуток времени, в течение которого потребителям может быть передана неверная информация или нештатная ситуация может перерасти в аварийную.

Одним из способов решения этой проблемы является перенос всего комплекса задач контроля, диагностирования и управления техническим состоянием на борт КА, что требует разработки соответствующих моделей и алгоритмов.

Состояние сложной технической системы, как правило, зависит от значений большого числа параметров, поэтому задачу диагностики можно рассматривать как задачу классификации многомерных объектов, каждый из которых представляет собой то или иное состояние системы и характеризуется соответствующими значениями указанных параметров.

В данной работе для решения указанной задачи предлагается использовать метод дискриминантного анализа, предназначенного для изучения отличий между группами многомерных объектов с возможностью последующей классификации объектов, принадлежность которых к той или иной группе заранее неизвестна.

В качестве примера технической системы, состояние которой требуется определить, рассматривается объединенная двигательная установка (ОДУ) КА.

Работу ОДУ характеризуют следующие телеметрические параметры: давление в баках горючего (ДБГ); давление в баках окислителя (ДБО); давление горючего в полости форсунок (ДФГ); давление окислителя в полости форсунок (ДФО); давление на сигнализаторе давления горючего в коллекторе (СДКГ1, СДКГ2); давление на сигнализаторе давления окислителя в коллекторе (СДКО1, СДКО2); давление на сигнализаторе давления наддува за шар-баллоном (СДН); давление на сигнализаторе давления наддува резервном (СДНР); давление на сигнализаторе давления за редуктором (СДР).

Анализ возможных состояний ОДУ показывает, что все неисправности могут быть отнесены к одной из пяти групп, в зависимости от того, значения каких определяющих параметров выходят за допустимые границы (табл. 1).

Еще одну группу составляют штатные состояния ОДУ, в которых все определяющие параметры находятся в пределах нормы.

Таким образом, необходимо, используя метод дискриминантного анализа, решить задачу отнесения объектов, характеризующихся 11 значениями параметров, к одной из 6 групп. Для решения задачи используется пакет Statistic Toolbox программы MATLAB.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

Прежде всего необходимо сформировать массив исходных данных. Так как реальные данные значений параметров системы, соответствующие различным типам неисправностей, отсутствуют, то исходные данные задаются как случайные числа.

Таблица 1. Сводная таблица неисправностей

№	Тип неисправности	Параметр	№ параметра
1	Незамыкание СДН. Тяга двигателя управления снижается пропорционально давлению в баках окислителя	ДБО	1
		ДБГ	2
2	Невключение корректирующего тормозного двигателя. Тяга меньше 0,1 номинальной (при снижении давления окислителя в полости форсунок)	ДФО	3
		ДФГ	4
3	Возможна неисправность редуктора в линиях наддува или неисправность линии наддува	СДР	5
		СДН	6
4	Отказ системы наддува или неисправность СДНР	СДНР	7
5	Неоткрытие электрожидкостного клапана (на участке работы управляющих двигателей), негерметичность электрожидкостного клапана (вне участка работы двигателей) при отсутствии окислителя (горючего) в первом или во втором коллекторе	СДКО1	8
		СДКГ1	9
		СДКО2	10
		СДКГ2	11

Генерируется массив случайных значений X размером 300×12 , содержащий 12 выборок по 25 наблюдений (объектов) в каждой. Каждое наблюдение включает 12 значений: 11 из них содержат значения параметров, характеризующих состояние ОДУ, двенадцатое - номер неисправности, к которой относится данная выборка, в соответствии с табл. 1 (0 – штатная работа, 1,2,...,11 – номер параметра, выход которого за допустимые границы приводит к неисправности данного типа).

Далее значения параметров в массиве нормируются делением на их максимальные значения, чтобы вклад различных параметров был соизмерим.

Классификация в программе MATLAB проводится с помощью функции `classify`:

$class = classify(sample, training, group, 'type')$.

Данная функция относит каждую строку данных из *sample* (массив X_n , содержащий параметры объектов, подлежащих классификации) к одной из групп; *training* - обучающая выборка (массив X); вектор *group* определяет, к какому классу относится каждая из записей в массиве *training*. Параметр *type* определяет модель дискриминантного анализа- так, для линейной модели он имеет значение *linear*.

Для апробации метода в массив X_n были включены 6 объектов, параметры каждого из которых соответствовали значениям, относящимся к одной из 6 групп классификации. Все объекты были классифицированы верно. Вероятность ошибочной классификации в данном случае была оценена как 0,087.

Таким образом, метод дискриминантного анализа позволяет достаточно уверенно решать задачу диагностики состояний сложной технической системы.

Список литературы:

1. Барановский А.М., Привалов А.Е. Система контроля и диагностирования бортового оборудования малого космического аппарата //Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. - №4.-С 43-48.
2. Тюрин А.Г., Зуев И.О. Кластерный анализ, методы и алгоритмы кластеризации // Вестник МГТУ МИРЭА– 2014. – Вып. 3. – С.86-97.
3. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И.– М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННОЙ БРОНЗЫ С ЛЕГКОПЛАВКОЙ ФАЗОЙ

*А.А. Орлов, д.т.н., проф.,
М.В. Верлинский, студент гр. 0АМ01
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777 (доб. 5213)
E-mail: mvv17@tpu.ru*

Процесс десублимации UF_6 является неотъемлемой частью технологии обогащения урана. Потoki UF_6 на выходе из каскада газовых центрифуг, обогащенные и обедненные по изотопу ^{235}U десублимируются в транспортные емкости. На практике наибольшее распространение получили вертикальные погружные транспортные емкости без внутреннего оребрения, с горизонтальным и вертикальным оребрением, а также горизонтальные транспортные емкости без внутреннего оребрения, которые используются, в основном, для импорта/экспорта UF_6 [1, 2].

В настоящее время актуальным является проведение исследований процесса десублимации UF_6 в горизонтальные транспортные емкости. Наиболее перспективным способом решения подобного рода задач является использование математического моделирования, поскольку экспериментальный подход дорог и занимает много времени.

Объектом исследования являлась горизонтальная транспортная емкость (рисунок 1). Объем и геометрические размеры емкости задаются и могут быть различными. Охлаждение емкости происходит орошением ее внешней поверхности хладагентом (водой), подаваемым из трубы (1), расположенной на оси симметрии емкости, через форсунки. Хладагент в виде тонкой пленки стекает по боковым стенкам емкости, при этом частично испаряется. Под емкостью установлен поддон (3) для сбора стекающего хладагента.

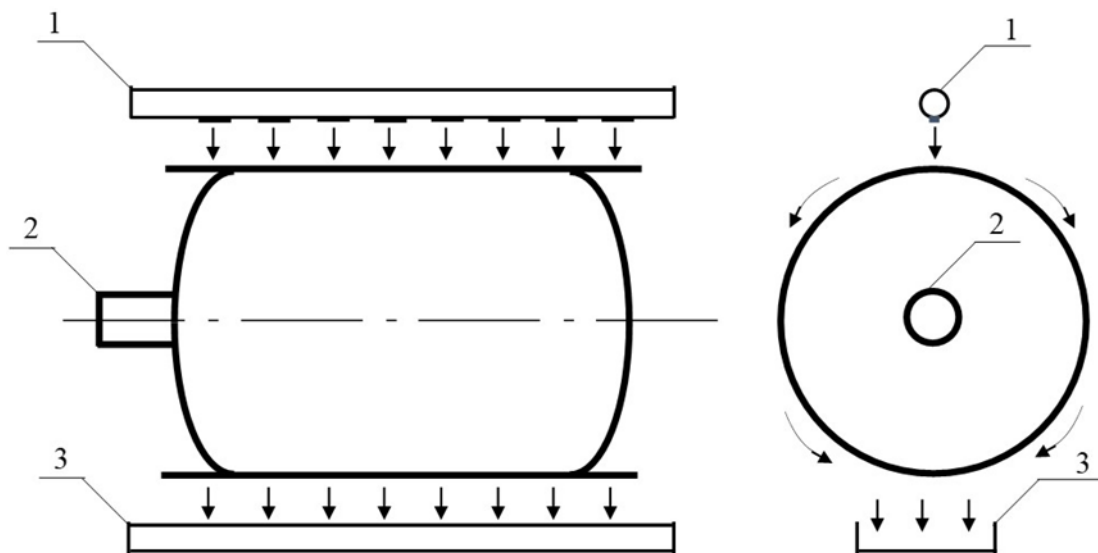


Рис. 1. Горизонтальная ёмкость.

В основу модели приняты следующие допущения:

1. Процесс десублимации UF_6 происходит на цилиндрической, орошаемой хладагентом поверхности емкости.

2. Десублимированный UF_6 в каждый момент времени представляет собой цилиндр с осевой симметрией, которая обусловлена равномерным распределением давления

газообразного UF₆ внутри емкости, а также незначительным изменением температуры хладагента по мере обтекания им цилиндрической стенки емкости.

3. Температура наружной поверхности цилиндрической стенки емкости постоянна и равна температуре хладагента в рассматриваемый момент времени. Температура внутренней стенки десублимированного UF₆ равна температуре фазового перехода (десублимации) UF₆ для текущего давления в емкости.

4. Процесс десублимации UF₆ в емкости является квазистационарным, т.е. распределение температур линейно и слабо изменяется во времени.

Основное расчетное дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = 0,5 \cdot \rho \cdot (T_2 - T_1) \cdot (R_2 - x) \cdot (r + 0,5c(T_2 - T_1))^{-1} \cdot \left(\lambda_1 \ln(R_1 R_2^{-1}) + \lambda_2 \ln(R_2 (R_2 - x)^{-1}) \right)^{-1}$$

где T_1 – температура внешней поверхности цилиндрической стенки емкости, равная температуре хладагента, °С; T_2 – температура фазового равновесия на границе десублимации UF₆, °С; R_1 – внешний радиус цилиндрической части емкости, м; R_2 – внутренний радиус цилиндрической части емкости, м; λ_1 – теплопроводность твердого UF₆, Дж·с⁻¹·м⁻¹·К⁻¹; λ_2 – теплопроводность стенки емкости, Дж·с⁻¹·м⁻¹·К⁻¹; x – толщина слоя десублимированного UF₆, м; r – удельная теплота десублимации UF₆, Дж·кг⁻¹; c – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; ρ – плотность твердого UF₆, кг·м⁻³.

Для начального условия $t_0 = 0$, $x(t_0) = 0$ дифференциальное уравнение численно решено методом Рунге-Кутты 4-го порядка [3]. Для каждого значения толщины слоя десублимированного UF₆ x находим значение массы десублимированного UF₆ по формуле:

$$m = \rho \pi L (R_2^2 - (R_2 - x)^2)$$

Согласно правилам хранения/транспортировки UF₆ заполнение емкости необходимо проводить до 70% ее свободного объема. Следовательно, расчет останавливается при достижении массы десублимированного UF₆ $m = 0,7 \cdot \rho \cdot V$, где V – объем заполняемой емкости.

Математическая модель реализована в виде программы на языке Python 3.8 в среде PyCharm 2020.1.

Список литературы:

1. Orlov A A, Malyugin R V, Methods of Uranium Hexafluoride Purification – Advanced Materials Research: Radiation and nuclear techniques in material science Scientific Journal – 2015 – № 1084 – P. 46
2. Orlov A A, Malyugin R V Way to Obtain Uranium Hexafluoride – Advanced Materials Research: Radiation and nuclear techniques in material science Scientific Journal – 2015 – № 1084 – P. 338
3. Krainov A Yu, Moiseeva K M, Numerical solution methods boundary value problems for ordinary differential equations – Tomsk: STT, 2016

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЕМКОСТИ

*А.А. Орлов, д.т.н., проф.,
М.В. Верлинский, студент гр. 0АМ01
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777 (доб. 5213)
E-mail: mvv17@tpu.ru*

Процесс десублимации UF_6 является неотъемлемой частью технологии обогащения урана. Потoki UF_6 на выходе из каскада газовых центрифуг, обогащенные и обедненные по изотопу ^{235}U десублимируются в транспортные емкости. На практике наибольшее распространение получили вертикальные погружные транспортные емкости без внутреннего оребрения, с горизонтальным и вертикальным оребрением, а также горизонтальные транспортные емкости без внутреннего оребрения, которые используются, в основном, для импорта/экспорта UF_6 [1, 2].

В настоящее время актуальным является проведение исследований процесса десублимации UF_6 в горизонтальные транспортные емкости. Наиболее перспективным способом решения подобного рода задач является использование математического моделирования, поскольку экспериментальный подход дорог и занимает много времени.

Объектом исследования являлась горизонтальная транспортная емкость (рисунок 1). Объем и геометрические размеры емкости задаются и могут быть различными. Охлаждение емкости происходит орошением ее внешней поверхности хладагентом (водой), подаваемым из трубы (1), расположенной на оси симметрии емкости, через форсунки. Хладагент в виде тонкой пленки стекает по боковым стенкам емкости, при этом частично испаряется. Под емкостью установлен поддон (3) для сбора стекающего хладагента.

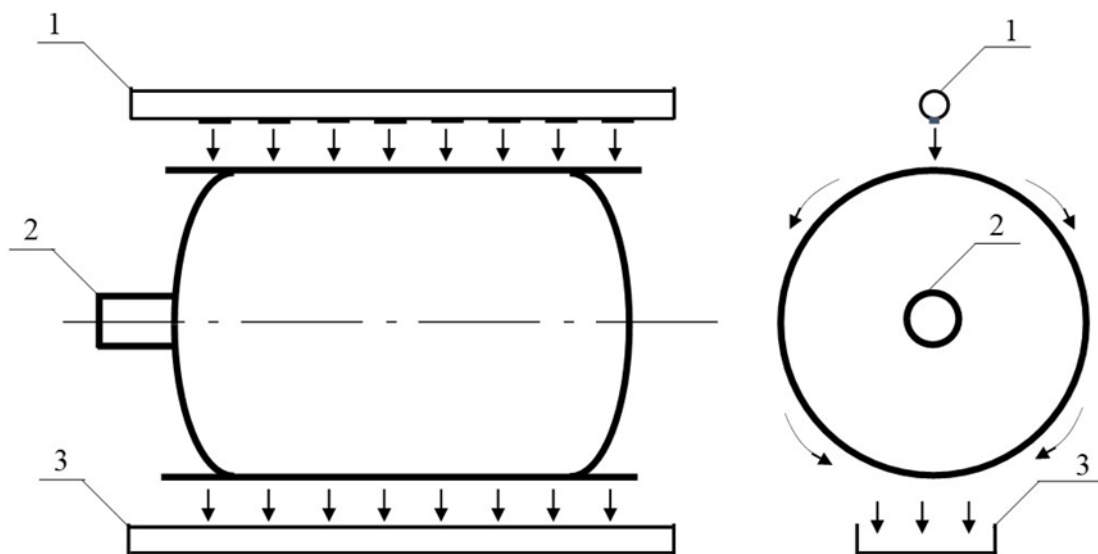


Рис. 1. Горизонтальная ёмкость.

В основу модели приняты следующие допущения:

1. Процесс десублимации UF_6 происходит на цилиндрической, орошаемой хладагентом поверхности емкости.

2. Десублимированный UF_6 в каждый момент времени представляет собой цилиндр с осевой симметрией, которая обусловлена равномерным распределением давления газообразного UF_6 внутри емкости, а также незначительным изменением температуры хладагента по мере обтекания им цилиндрической стенки емкости.

3. Температура наружной поверхности цилиндрической стенки емкости постоянна и равна температуре хладагента в рассматриваемый момент времени. Температура внутренней стенки десублимированного UF_6 равна температуре фазового перехода (десублимации) UF_6 для текущего давления в емкости.

4. Процесс десублимации UF_6 в емкости является квазистационарным, т.е. распределение температур линейно и слабо изменяется во времени.

Основное расчетное дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = 0,5 \cdot \rho \cdot (T_2 - T_1) \cdot (R_2 - x) \cdot (r + 0,5c(T_2 - T_1))^{-1} \cdot \left(\lambda_1 \ln(R_1 R_2^{-1}) + \lambda_2 \ln(R_2 (R_2 - x)^{-1}) \right)^{-1}$$

где T_1 – температура внешней поверхности цилиндрической стенки емкости, равная температуре хладагента, °С; T_2 – температура фазового равновесия на границе десублимации UF_6 , °С; R_1 – внешний радиус цилиндрической части емкости, м; R_2 – внутренний радиус цилиндрической части емкости, м; λ_1 – теплопроводность твердого UF_6 , Дж·с⁻¹·м⁻¹·К⁻¹; λ_2 – теплопроводность стенки емкости, Дж·с⁻¹·м⁻¹·К⁻¹; x – толщина слоя десублимированного UF_6 , м; r – удельная теплота десублимации UF_6 , Дж·кг⁻¹; c – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; ρ – плотность твердого UF_6 , кг·м⁻³.

Для начального условия $t_0 = 0$, $x(t_0) = 0$ дифференциальное уравнение численно решено методом Рунге-Кутты 4-го порядка [3]. Для каждого значения толщины слоя десублимированного UF_6 x находим значение массы десублимированного UF_6 по формуле:

$$m = \rho \pi L (R_2^2 - (R_2 - x)^2)$$

Согласно правилам хранения/транспортировки UF_6 заполнение емкости необходимо проводить до 70% ее свободного объема. Следовательно, расчет останавливается при достижении массы десублимированного UF_6 $m = 0,7 \cdot \rho \cdot V$, где V – объем заполняемой емкости.

Математическая модель реализована в виде программы на языке Python 3.8 в среде PyCharm 2020.1.

Список литературы:

1. Orlov A A, Malyugin R V, Methods of Uranium Hexafluoride Purification – Advanced Materials Research: Radiation and nuclear techniques in material science Scientific Journal – 2015 – № 1084 – P. 46
2. Orlov A A, Malyugin R V Way to Obtain Uranium Hexafluoride – Advanced Materials Research: Radiation and nuclear techniques in material science Scientific Journal – 2015 – № 1084 – P. 338
3. Krainov A Yu, Moiseeva K M, Numerical solution methods boundary value problems for ordinary differential equations – Tomsk: STT, 2016

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.Я. Пак, к.т.н.,

П.В. Поваляев, аспирант гр. А1-48

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

тел. (3822)-444-555

E-mail: pvp13@tpu.ru

В период быстрого экономического роста и ускоренной урбанизации происходит непрерывное увеличение количества твердых бытовых отходов. Вследствие чего возникла необходимость их утилизации. Сжигание – один из подходов переработки отходов, но процесс происходит с выделением большого количества золы и углекислого газа [1]. Золошлаковые отходы относятся к типу сложноутилизируемых отходов, которые нельзя переработать методом сжигания. Обработка золы электроразрядной плазмой позволяет остекловывать сырье, а также в ряде случаев позволяет получать различные материалы с добавочной стоимостью в процессе переработки. Для обработки отходов, в том числе золы, электроразрядной плазмой используется плазмохимический реактор. В настоящей работе представлены результаты работы, посвященной автоматизации систем управления и мониторинга параметров рабочего режима электродугового реактора.

Разрабатываемая система выполняет следующие функции:

- регистрация тока и напряжения в процессе проведения синтеза;
- регистрация температуры и влажности окружающего воздуха.

Для регистрации силы тока применяется датчик, с выходом по напряжению, марки CSLA1DJ, основанный на эффекте Холла. Измерение напряжения производится посредством омического делителя напряжения. Также в составе системы регистрации были предусмотрены емкостные фильтры для подавления шумов на регистрирующем входе осциллографа.

Система регистрации температуры и влажности основана на цифровых метеодатчиках – AM2302, имеющих необходимый диапазон измерений.

Сбор данных с датчиков в системе обеспечивает контроллер Arduino Mega, откуда данные поступают на OPC-сервер, разработанный в программе Master OPC universal Modbus. В связи с необходимостью визуализации данных была построена мнемосхема на базе программного пакета Master SCADA 3.7; мнемосхема изображена на рисунке 1.

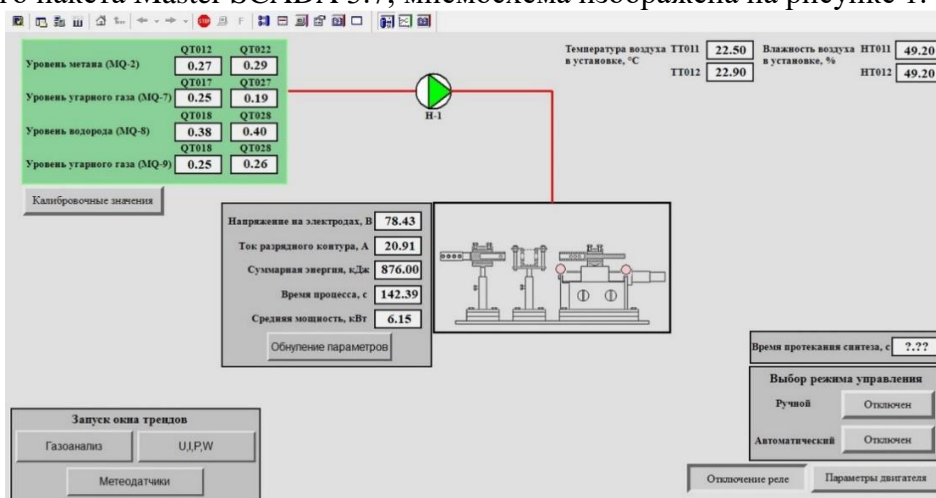


Рис. 1. Экран управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора

Средствами SCADA-системы реализована архивация данных, обеспечивающая представление показаний за прошедший период работы установки, что позволяет производить оценку качества экспериментов, а также отслеживать события, происходящие

во время синтеза. Для графического представления архивных значений параметров используется модуль трендов.

После сборки системы и программной реализации произведена проверка работоспособности системы. На рисунке 2 изображены тренды, соответствующие показаниям метеодатчиков.

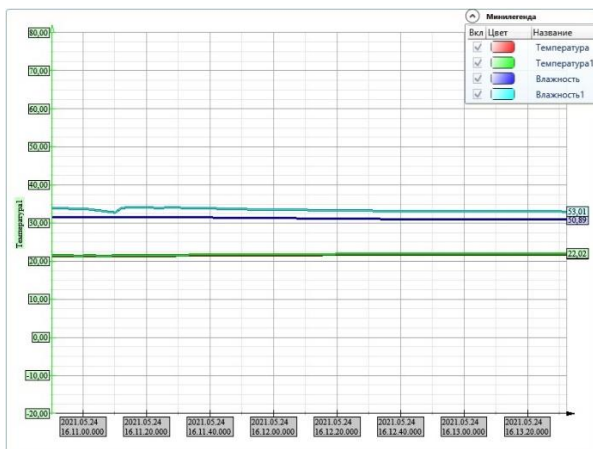


Рис. 2. Линии тренда для влажности и температуры

Проверка корректности работы измерения тока и напряжения производилась в двух режимах работы установки: в режиме холостого хода и в рабочем режиме (процесс протекания синтеза). Режим холостого хода установки значения данных параметров изначально известны, показания тока находятся на границе 0 А, напряжение в пределах 80 В. Для проверки работы системы в процессе синтеза использовался осциллограф, ранее применявшийся для регистрации показаний. На рисунке 3а изображены показания тока и напряжения с осциллографа, на рисунке 3б изображены показания, с разрабатываемой системы.

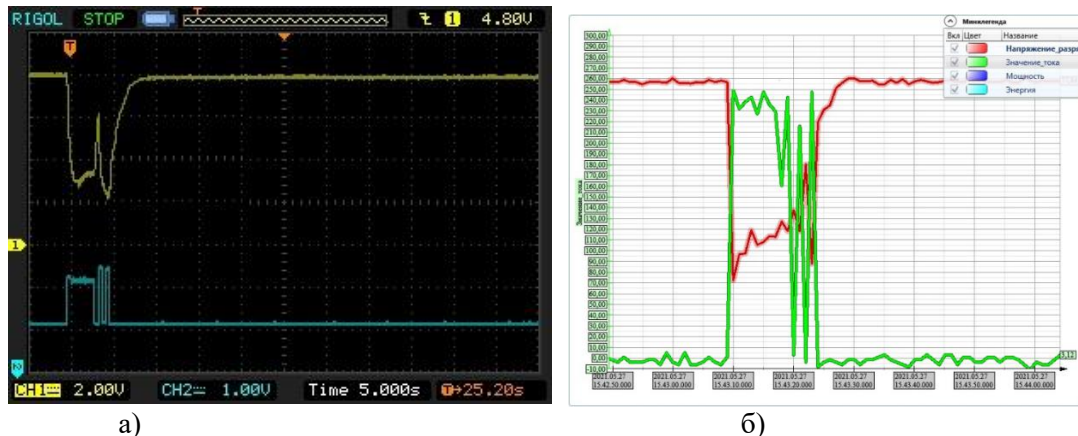


Рис. 3. Линии тренда показаний тока и напряжения

Из рисунков 3а и 3б видно, что графики тока и напряжения с осциллографа схожи с графиками, полученными системой. Однако, для более точной проверки показаний, произведен расчет средней энергии, и определена точность показаний создаваемого оборудования. После выполнения расчетов средней энергии было получена средняя мощность, рассчитанная с использованием показаний осциллографа, равная 5,234 кВт, средняя мощность, рассчитанная из показаний системы, составила 5,184 кВт. Относительная погрешность составила приблизительно 0,1 %.

Работа выполнена в рамках программы Гос. задания ВУЗАм (FSWW-2020-0022)

Список литературы:

1. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Destruction of inorganic municipal solid waste incinerator fly ash in a DC arc plasma furnace // URL:

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410006357> — Дата обращения
[12.09.2021.](#)

ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Ю.И. Петренко, студент гр. 4НМ01

Руководитель В.Н. Дерюшева, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: yip3@tpu.ru, vderusheva@tpu.ru

Любому предприятию – лидеру в области высокотехнологичных изделий, чтобы оставаться лидером на рынке необходимо выполнять большой объём НИОКР ежегодно. Стараться при этом, чтобы себестоимость, время, затраченные ресурсы были минимальны.

Для сокращения времени на НИОКР, на стенды и получению наибольшего эффекта при меньших трудозатратах – приходится применять междисциплинарный подход и виртуальные испытания.

И вот основываясь на большом опыте выполнения инженерных проектов - которые есть. Формируется комплекс технологий и подходов. В фундаменте которых лежат инструменты программного обеспечения. Такие как MATLAB-Simulink, Siemens и другие. Что делает каждый этап проектирования более прозрачных, управляемым, точным, системным. Для достижения поставленных целей.

Объединив это – приобретаем название цифровое конструкторское бюро [5].

Цифровое конструкторское бюро совокупность основных видов представления, включает в себя – управление требованиями, системное 1D моделирование, управление расчетными данными, интеграция с данными испытаний, 3D модерирование, виртуальные испытания, данные об материалах, оптимизация, мульти-доменная архитектура. Всё это выстроено в единый процесс на базе PLM системы, с возможностью масштабировать [3,5].

Пример: модель требования, электронная структура изделия, САД-модель, расчётное конструкторская документация, комплексные 1D + 3D модели и виртуальные испытания. Фрагменты приведены на рисунке 1.

Всё это даёт возможность, убедиться до проведения натурных испытания, на сколько правильно отработано. А потом взять и повторить это на натурном стенде и попасть в точку с первого раза.

Эффекты: сокращение затрат на доводку натурных образцов изделия, увеличение количества вариантов с различными параметрами, значительное сокращение сроков проектирования, значительное сокращение сроков выпуска РКД.

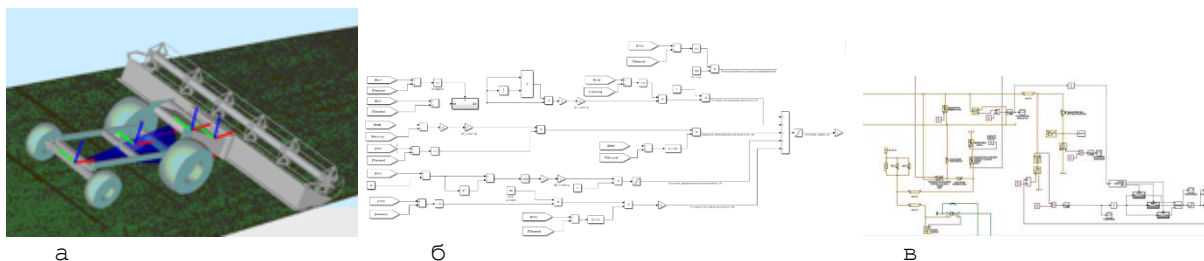


Рис. 1. а) Цифровой двойник. б) Система управления. в) Гидравлическая система. [1,4]

Одна из составных частей системного инжиниринга, является Simcenter Amesim.

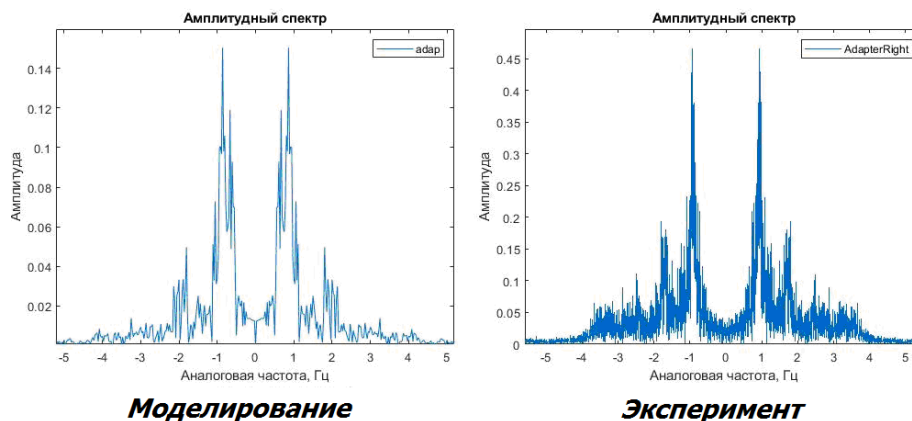
Simcenter Amesim помогает смоделировать поведения системы в целом, объединяя специфичный ряд задач. Когда нужно моделировать изделия в целом, состоящее из различных систем разной физической природы - механика, гидравлика, пневматика, тепловые процессы, и других. При этом нужно моделировать быстро, достоверно, затрагивая сложные переходные и динамические процессы. И максимально детализировано. И сами расчёты нужно обрабатывать на мощном кластере, чтобы так точно воспроизвести всю специфику. Так же производя до настройки. Искусство так называемое [2]. Соединить

модели разного порядка 1D + 3D. Так же идёт дополнение по нюансы геометрии, кинематики, материалов, конструктивных особенностей элементов.

Задача моделирования заключается в том, что математическая модель должна быть как можно ближе к физической модели, плюс учитывать ее исполнение. Для этого важен сам процесс проектирования, как мы от требований переходим к итоговой конструкции (реализации). Например, на рис.2 приведен результат исследований комбайна в виртуальной среде и в поле.

Практическая значимость заключается в согласовании работы людей с разных подразделений предприятия, таких как управление процессами – все данные которые мы получаем, обмениваемся вместе с коллегами и внутри себя (конструктора, расчётчики, испытатели, технологи). Управление требованиями – те параметры перекинуть на геометрию, на расчётные модели, проверять их. Конструкторская подготовка. Технологическая подготовка производства. Управление расчетными обоснованиями и так далее.

Таким образом, с одной стороны математическая модель нам помогает значительно сократить время и затраты на промежуточные натурные испытания (придерживаться принципа – наибольший эффект при наименьших трудозатратах). Но с другой стороны нужно всегда держать в голове реалии и стараться приближаться к ним.



Моделирование

Эксперимент

Рис. 2. Результат. [1]

Список литературы:

1. РОСТСЕЛЬМАШ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostselmash.com> свободный. Дата обращения: 07.09.2021.
2. Simcenter Amesim. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/simcenter/simcenter-amesim.html> свободный. Дата обращения: 07.09.2021.
3. Управление жизненным циклом изделия (PLM): Siemens. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru> свободный. Дата обращения: 07.09.2021.
4. Simulation and Model-Based Design. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> свободный. Дата обращения:
5. Адванс Инжиниринг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://advengineering.ru/ru/> свободный. Дата обращения: 07.09.2021.

РАСЧЕТ ИЗГИБА ВЯЗКОУПРУГОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

*А.А. Светашков, д.ф.-м.н., профессор,
Д.Д. Дубровский, аспирант гр. А0-24
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
E-mail: ddd6@tpu.ru*

Несмотря на огромную востребованность анализа механических свойств вязкоупругих композитов, прогнозирования прочности и долговечности конструкций, задачи механики вязкоупругих тел недостаточно полно проработаны в современной литературе.

В данной работе проведено сравнение МРП [1] с аналитическим методом Вольтерра [2] на примере задачи изгиба вязкоупругой плиты на упругом основании [3].

Упругое решение. К исследуемой упругой пластинке приложена равномерно распределенная нагрузка q_{mn} . Сама пластинка расположена на сплошном упругом основании. Формула прогиба пластинки имеет вид

$$W_{mn} = \frac{q_{mn}}{D\pi^4 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 + k}, \quad 1$$

где D – цилиндрическая жесткость пластинки, k – модуль упругости основания, a и b – длина и ширина пластинки. По прогибу могут быть рассчитаны напряжения σ_x , σ_y , τ_{xy} , возникающие в плите. Цилиндрическая жесткость имеет вид

$$D = \frac{Kh^3}{4} \left(\frac{3}{4} + \frac{G}{6K} - \frac{3}{4}g_2 \right), \quad 2$$

где K – модуль объемного сжатия, G – модуль сдвига, h – толщина пластинки.

Вязкоупругое решение. Решение по методу Вольтерра заключается в замене упругих постоянных G и g_2 на операторы упругой наследственности G^* и g_2^* . Применяя алгебру метода Вольтерра можно представить функцию операторов в виде суммы произведений некоторых операторов на заданные функции времени. Итоговое выражение выглядит следующим образом

$$W_{mn} = \frac{q_{mn}}{C} \cdot (1 + a_1 \mathcal{E}_{r_1}^* + a_2 \mathcal{E}_{r_2}^*), \quad 3$$

где C , a_1 , a_2 , r_1 , r_2 – рассчитанные на основании алгебры Вольтерра константы, $\mathcal{E}_{r_1}^*$, $\mathcal{E}_{r_2}^*$ – преобразованные операторы упругой наследственности G^* и g_2^* .

Решение задачи по МРП заключается в замене упругих констант на эффективные модули времени. Преобразованное выражение для W_{mn} представляет собой

$$W_{mn(c)} = \frac{Kh^3}{4} \left(\frac{3}{4} + \frac{g_c^*}{6K} - \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{1 + 2 \frac{2 \cdot g_c^*}{3K}} \right), \quad 4$$

$$\text{где } g_c^* = \frac{1}{\frac{1}{G} \left(1 + \lambda \cdot \int_0^t e^{-\gamma(t-\tau)} d\tau \right)}, \quad 5$$

На графике (рис. 1) видно, что относительная погрешность МРП от метода Вольтерра, которая рассчитывается по формуле

$$\delta_w = \frac{W_{mn} - W_{mn(c)}}{W_{mn}} \cdot 100\%, \quad 6$$

составляет не более 0,2 %, что говорит о точности проведенных расчетов и эффективности применения МРП в подобных задачах.

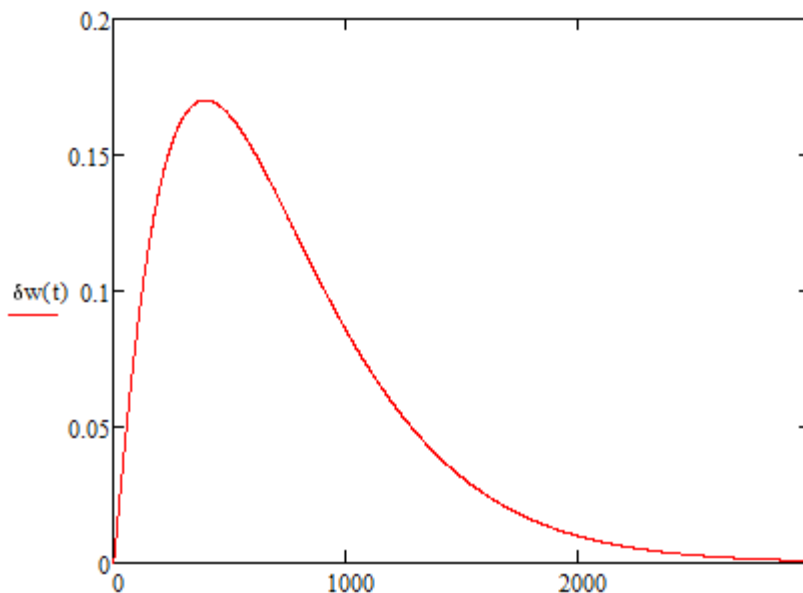


Рис. 1. Относительная погрешность МРП от метода Вольтерра.

Список литературы:

1. Svetashkov A., Variable separation method for solving boundary value problems of isotropic linearly viscoelastic bodies / A.A. Svetashkov, N.A. Kupriyanov, M.S. Pavlov, A.A. Vakurov // *Acta Mechanica*. - 2020. - 231(9) p.3583–3606 - DOI: 10.1007/s00707-020-02698-4. WOS/ Scopus IF 2.102;
2. Volterra V. (1930) *Theory of Functionals and of Integral and integrodifferential Equations*. London; Glasgos: Blackie and Son Limited;
3. Александров А. В., Потапов В. Д., *Основы теории упругости и пластичности: Учебник для строит. спец. Вузов.* – М.:Высш. шк., 1990. – 400 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО
ПЛАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗАНИЕМ**

*Е.А. Спирин, к.т.н., доц., В.Б. Ясинский, к.т.н., доц., Е.В. Герасимов, аспирант,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, г.Красноярск,
пр.Свободный,82/10,
тел.(391)-249-75-55
E-mail: gerasimov24rus@gmail.com*

Повышение качества и эксплуатационных характеристик изделий, полученных методами селективного лазерного плавления является актуальной и практически значимой задачей.

Современные исследования показывают, что прочность образцов изделий, изготовленных при помощи метода селективного лазерного плавления, зависит не только от грануло-морфометрических свойств и геометрических размеров частиц используемого порошкового материала, но и от внутренней микроструктуры и наличия дефектов (пор, трещин, дополнительных включений и пр.), основная причина появления которых являются технологические режимы процесса и выбранная стратегия обработки порошкового материала в каждом сплавляемом слое [1].

В процессе разработки технологического процесса были рассмотрены процессы теплопередачи, плавления материала и его перехода из твердого в жидкое состояние, и образования сфер жидкого металла под действием поверхностного натяжения с помощью симуляции в ANSYS fluent.

На рисунках 1 б,в показана модель распределения температуры при лазерном сплавлении единичным импульсом. Проведенное моделирование позволило оптимизировать режимы оплавления порошкового материала, обеспечило снижение внутренней микропористости и отклонений размеров поверхностного слоя. Некоторые частицы порошка не могут полностью перейти в жидкую фазу, в этом участке происходит частичное сплавление или их спекание. Этот процесс влияет на образовании волнистости и пор.

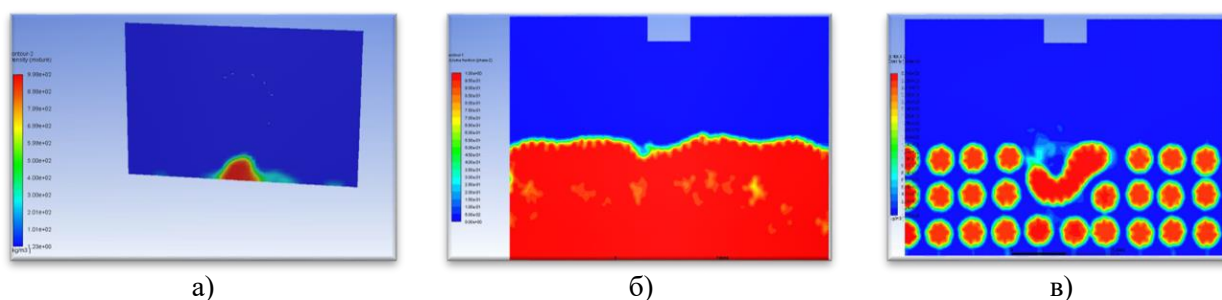


Рис. 1. Симуляция процессов образование капли (а), плавления твердого тела (б) и порошкового материала

Причины возникновения шероховатости и волнистости вследствие протекания теплообменных процессов имеют большое значение. Особенность локального лазерного воздействия и соответствующее ему распределение поля температур способствуют возникновению специфичного профиля поверхности, во время формообразование деталей методом селективного лазерного сплавления порошковых металлов. Для каждого материала необходимы свои параметры печати: мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя и диаметр пятна.

Вопрос последующей обработки сложнопрофильных наружных и внутренних поверхностей деталей, изготовленных по технологии селективного лазерного плавления, проявляется особенно остро, когда требуется получить более высокую точность линейных размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Необходимость дополнительной

обработки объясняется ступенчатой формой, образованную в процессе нанесения слоев порошкового материала [2].

В работе предлагается механической обработкой фрезоточением многозубой сложнопрофильной фрезой достичь точности формы и размеров равноосного РК-профиля (Рисунок 1). Применение данной фрезы позволяет выполнить механическую обработку тонких стенок детали с малыми припусками без их деформаций. Конструкция фрезы и использование многоцелевых станков с ЧПУ позволяет получать такие сложноконтурные поверхности. Высокоскоростная обработка с количеством циклов резания около 200 позволяет уменьшить удельные силы резания, исключить влияние высокой температуры в зоне резания, структурные и фазовые изменения, сопровождающиеся формированием растягивающих остаточных напряжений и коробление детали.

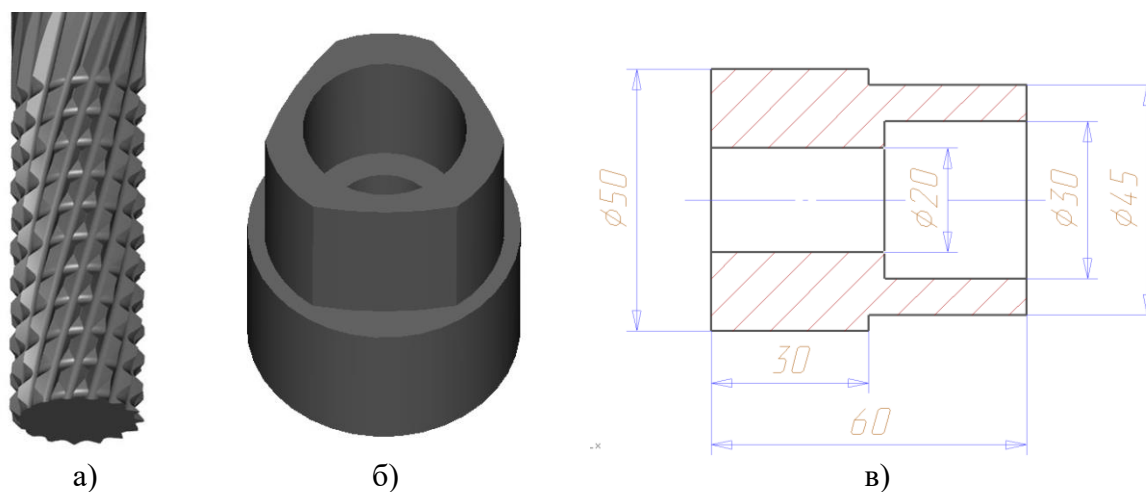


Рис.2. Сложнопрофильная многозубая фреза (а) и экспериментальный образец (б)

Выполнено моделирование процессов плавления порошковых материалов методом SLM, которое показало степень влияния технологических факторов таких как мощность лазера, скорость и стратегия сканирования на точность линейных размеров, формы и взаимного расположения поверхностей изготавливаемых деталей. Для фрезоточения сложнопрофильной многозубой фрезой проведено моделирование кинематики и процессов формирования микронеровностей при обработке профильных поверхностей с равноосным контуром.

Список литературы:

1. Тарасова Т.В., Назаров А.П. Исследование процессов модификации поверхностного слоя и изготовления трехмерных машиностроительных деталей посредством селективного лазерного плавления // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2013. № 2(25). с. 17-21.

2. Балякин А.В., Жученко Е.И., Смирнов Г.В., Проничев Н.Д. Исследование проблем появления негативной технологической наследственности при изготовлении деталей ГТД методом селективного лазерного сплавления // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 21, No 1, 2019. с. 61-70.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МАНЕВРЕННОСТИ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ

*Д.В. Черник, к.т.н., доц.,
М.М. Литвинова¹, студент гр. МТЛ20-01
Сибирский государственный университет науки и технологий им. ак. М.Ф. Решетнёва,
660037, г.Красноярск, пр.им. газеты «Красноярский рабочий»,31,
тел. +7-929-339-69-44
E-mail: marg32883@gmail.com*

Маневренность лесозаготовительной машины – называется группа свойств, характеризующих способность лесной машины к совершению маневров, т.е. способность к изменению своего положения на ограниченной площади и в проездах заданной формы и размеров, в том числе при движении задним ходом.

Ограничивающее влияние маневренности на техническую скорость движения особенно проявляется в городских условиях; а на эксплуатационную скорость – в местах погрузки и разгрузки, обычно отличающихся малыми и неудобными площадями.

У лесозаготовительных машин должна быть хорошая манёвренность. Это необходимо, для передвижения в ограниченных условиях и когда происходит изменение направления движения, когда необходимо развернуться на 90° на узких лесных дорогах, при необходимости, в противоположном направлении или с полным поворотом.

Большое влияние на маневренность оказывает сопротивление движению. Чем хуже дорожные условия и больше коэффициенты сопротивления качению колес, тем больше необходимые для движения продольные реакции и крутящие моменты и тем меньше остается запас динамического фактора, который может быть реализован.

Маневренность может быть охарактеризована следующими оценочными показателями: минимальный радиус поворота R_{\min} , внутренний R_v и наружный R_n габаритные радиусы поворота, минимальный радиус поворота внутреннего заднего колеса R_{vk} , поворотная ширина b_p по колее колес и поворотная ширина B_k машины (коридора). Поворотная ширина и габаритная полоса движения характеризуют ширину коридора, необходимого при совершении крутых поворотов, а также возможность движения в проездах заданной формы и разеров.

Минимальный радиус поворота, указывается в технической характеристике лесной машины. Его можно вычислить по формуле:

$$R_{\min} = \frac{L}{\sin \theta_{\max}},$$

где L — база автомобиля; θ_{\max} — максимальный угол поворота наружного колеса.

Поворотную ширину по колее колес, возможно, определить при помощи данной формуле:

$$b_p = R_{\min} - R_{vk}.$$

Поворотная ширина по колее колес машины определяет минимально необходимую ширину проезжей части твердого покрытия дороги.

Поворотной шириной машины (коридора) называется разность между наружным и внутренним габаритными радиусами поворота автомобиля:

$$b_k = R_n - R_v.$$

¹Участие в XIV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» при поддержке Красноярского краевого фонда науки

Поворотная ширина коридора определяет минимальную ширину проезда или ширину полосы движения, необходимую при крутых поворотах, а также возможность движения в проездах заданных размеров и формы.

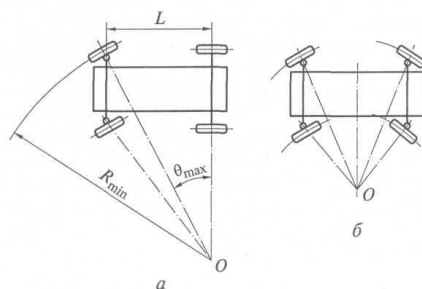


Рис. 1 Схемы лесозаготовительных машин с передними (a) и всеми (b) управляемыми колесами: O — центр поворота

Математическая модель, построенная при помощи расчетов в программе Mathcad, позволяет сделать расчеты для любых лесных машин, и найти при этом наилучшие показатели маневренности. При помощи математической модели, возможно, выявить наилучшие конструкторские решения в лесном машиностроении. Для математического моделирования возьмем технические характеристики колесного харвестера от Dohn Deere 1070g. У данной лесозаготовительной машины длина составляет 6500 мм, минимальный радиус поворота 5815 мм, внутренний и наружный габаритный радиус 6017 мм и 3247 мм. Минимальный радиус поворота внутреннего заднего колеса 3080 мм.

```
Rmin := 5815      L := 6500      RBK := 3080      Rn := 6017      Rb := 3247
bn := Rmin - RBK = 2735
bk := Rn - Rb = 2770
```

Рис. 2 Математический расчет оценки маневренности в Mathcad.

Поворотная ширина по колесам по результатам расчетов должна в идеале составлять 2735 мм, а поворотная ширина машины должна составлять 2770 мм.

Расчеты в Mathcad выявили, какими должны быть параметры площадки, а также минимальная ширина лесной дороги. Что позволяет подобрать определённый тип машины под заданные условия. Таким образом, математическая модель помогла нам рассчитать оценку маневренности для лесозаготовительной машины. Оценка маневренности выявила, что у данной машины хорошая способность разворачиваться вокруг своей оси.

С помощью математической модели возможно в численном показателе выявить достоинства и недостатки различных механизмов, а также просчитать условия, при которых их работа будет максимально эффективной.

Список литературы:

1. Вахламов В.К., Автомобили: Эксплуатационные свойства: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 240 с.
2. Маневренность автомобилей [Электронный ресурс] Сельскохозяйственное строительство. Строительные машины и их эксплуатация. URL: [http://betonotech.site/pilefound/stroimashina_1_\(90\).htm](http://betonotech.site/pilefound/stroimashina_1_(90).htm) (Дата обращения 10.09.2021)
3. Dohn Deere 1070g [Электронный ресурс] Колесные харвестеры. URL: <https://www.deere.ru/ru/%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%8B/1070g/> (Дата обращения 10.09.2021)

СЕКЦИЯ 6. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

МОНТАЖНАЯ ПЕНА ДЛЯ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТНОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

*Авзалов Д.Д., Паиков Е.Н., Штейнле А.В., Черемискина М.С., Зиякаев Г.Р.
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: dda3@tpu.ru*

В данное время происходит совершенствование средств для оказания ПП, в том числе средств для транспортной и лечебно-транспортной иммобилизации конечностей (патенты РФ № 2026042, 2482820, 2487689) с учётом особенностей циркуляции крови и посттравматического восстановления костной ткани [3]. В представленных средствах для транспортной иммобилизации при повреждениях костных тканей человека на основе пенообразующих материалов предоставляются пути для будущего совершенствования [1-2]. В данном случае под совершенствованием мы подразумеваем применение разнообразных монтажных пен, которые обладают рядом свойств, необходимых для транспортной иммобилизации. К ним относится простота использования, в том числе и в чрезвычайных ситуациях; отсутствие специальной подготовки; скорость использования; невысокая стоимость; способность проникать в труднодоступные места; безопасно для человеческого здоровья; звуко- и теплоизоляционные качества.

Основа устройств для транспортной иммобилизации являлась прежней – 4 скреплённых слоя полиэтилена, контактные ленты- липучки для фиксации, 2 ниппеля, достигающие пространства между двумя средними слоями, которое заполняется пенообразующим быстро затвердевающим компонентом. Гладким внутренним поверхностям полиэтилена мы придавали шероховатый вид для повышения адгезивных свойств, а в пространство между внутренними слоями заливали 200 мл воды.

Изучив характеристики, данные производителями, мы применили 4 варианта монтажной пены (таблица 1):

монтажная пена образец 4 (засыхает при температуре не ниже +5°C, обладает высоким уровнем адгезии ко всем материалам, никогда не растекается, не крошится, долго сохраняет свои свойства при влажности равной 60-80%, разрушается при воздействии прямого воздействия ультрафиолетовых лучей; монтажные пены образец 1 и образец 3 (обладают высокой адгезией даже в условиях температуры ниже -5°C, при затвердевании хорошо сохраняют объем, плотную и мелкоячеистую структуру); монтажная пена образец 2 (является огнестойкой модификацией, отличается незначительным вторичным расширением, плотной и мелкопористой структурой, обладает хорошей адгезией).

Таблица 1 – Параметры сравнения затвердевающих компонентов.

№	Наименование	Объем	Диапазон рабочих температур	Время затвердевания	Огнестойкость	Плотность полностью отвержденная
1	Образец 1	750 мл	-20°C+30°C	7-15 мин	+	19-24 кг/м ³
2	Образец 2	750 мл	+5°C+30°C	20-25 мин	+	27 кг/м ³
3	Образец 3	625 мл	-10°C+25°C	15-25 мин	-	21-25 кг/м ³
4	Образец 4	750 мл	-5°C+30°C	7-16 мин	+	25 кг/м ³



Рис. 2. Транспортная иммобилизация нижней конечности (вид сбоку).

Применение 4-х видов монтажных пен выявило, соответствие рельефа демонтированных шин анатомическим особенностям тела человека, что свидетельствует о качестве иммобилизации. Малые габариты и вес также свидетельствовали в пользу всех применённых вариантов монтажной пены. Монтажные пены образец 1 и образец 3 проявили себя положительно при отрицательных температурах, а образец 4 и образец 2 - при положительных. Придание внутренней поверхности шины шероховатости в сочетании с повышением влажности способствуют увеличению скорости затвердевания в 2 раза по сравнению с предыдущими исследованиями.

Предложенная модификация средств для транспортной иммобилизации способствует ускорению затвердевания основы (монтажной пены) и, в конечном итоге, не влияет на качественные параметры шин. Усовершенствованные средства могут быть включены в комплект автомобильной аптечки в виде нескольких шин для транспортной иммобилизации при повреждениях человеческого тела любой локализации.

Список литературы:

1. Штейнле А.В. Патологическая физиология и современные принципы лечения тяжёлых сочетанных травм (часть 2) / А.В. Штейнле // Сибирский медицинский журнал. – 2009. – Т.24. – №3(2). – С. 35-42.
2. Мишин Ю.А. Совершенствование комплектно-табельного оснащения для оказания первой помощи в военно-морском флоте / Ю.А. Мишин, Д.С. Забродский, А.В. Меркулов // Морская медицина. – 2015. – Т.1. – №2. – С. 55-57.
3. Самохвалов И.М. Роль лечебно-транспортной иммобилизации в хирургическом лечении пострадавших с переломами длинных костей конечностей при механических травмах мирного времени / И.М. Самохвалов, Е.В. Ганин, Т.Ю. Супрун [и др.] // Скорая медицинская помощь. – 2016. – №2. – С. 20-26.

ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ ГРУНТОМЕТА НА БАЗЕ МОТОВЕЗДЕХОДА

И.С. Федорченко, к.т.н., доц.,

В.А. Бакач¹, студент гр. МТЛ 20-01

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф.

Решетнева, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

тел.89631829865

E-mail: bakac706@gmail.com

Лесная промышленность и лесные хозяйства Российской Федерации несут ежегодные убытки и ущерб от возникновения лесных пожаров, которые отрицательно влияют на экономическую и экологическую обстановку в стране. Кроме того лесной пожар представляет опасность для жизни человека, так как в нашей стране основная площадь суши занята лесом, а человек практически живет рядом с лесом, особенно это явно наблюдается в селах, деревнях, поселках.

Поэтому в Сибирском Государственном Университете науки и технологии, на кафедре Лесного инжиниринга предпринимаются попытки создания и разработки лесопожарного оборудования в виде грунтометов [1,2,3]. Основная эффективность использования данных орудий заключается в том что, грунтометом можно вести механизированную прокладку минерализованных полос, а также тушить кромку пожара грунтом [4]. Однако существующие аналоги не способны работать в лесу с плотным насаждением древесных пород, так как используют в качестве базовой машины тракторы высокого класса тяги. Поэтому было решено использовать в качестве базовой машины мотовездеход. Разрабатываемый проект рис. 1, позволит заменить полностью или частично ручной труд лесного пожарного, а так же обезопасить, облегчить и механизировать его работу на тушении лесных низовых пожаров, приведет к сокращению количества лесных пожарных задействованных на тушение.

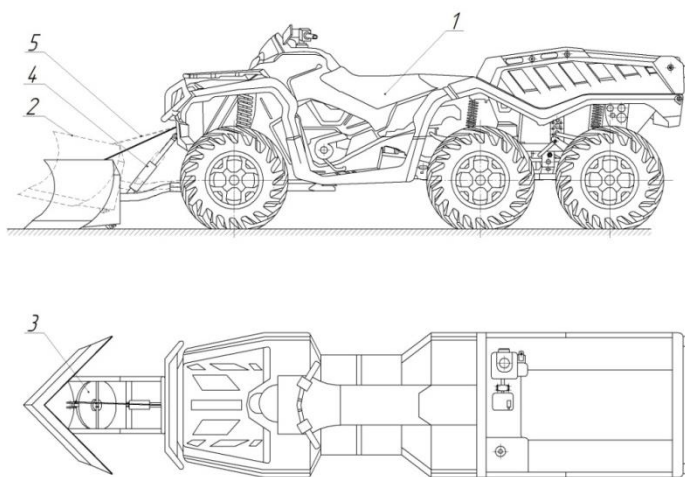


Рис. 1. – Грунтомет на базе мотовездехода

Грунтомет состоит из базовой машины 1 (квадроцикл), на которую установлен отвал 2, на отвале установлен грунтомет 3. Поднятие-опускание отвала осуществляется гидроцилиндром 4. Лебедка 5 служит для дополнительного заглубления рабочего органа.

¹ Участие в XIV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» проведено при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Рабочий орган работает за счет спроектированной гидравлической системы, для мотовездехода.

Работа агрегата происходит следующим образом. После перевода навесных агрегатов машины в рабочее положение, агрегат перемещается вдоль кромки огня при тушении пожара, или по периметру насаждений, если ведется прокладка противопожарных минерализованных полос.

Опусканием штока гидроцилиндра, идет прижатие рабочего органа грунтомета и отвала, отвал заглубляется в почву, подрезает верхнюю подстилку лесных горючих материалов, сдвигает их к краям отвала образуя вал из лесной подстилки и инородных тел в виде камней и т.п. Следом за отвалом заглубляется в подготовленную почву посредством собственного веса рабочий орган грунтомета. Если глубина заглубления не достаточна, то грунтомет догружается при помощи лебедки мотовездехода, которая закреплена за один край защитного кожуха грунтомета, так как грунтомет закреплен к раме отвала шарнирно подтягивая лебедку, оператор создает усилие прижатия рабочей области грунтомета. Гидромотор, работающий от гидросистемы мотовездехода передает крутящий момент валу рабочего органа грунтомета. Затем вал передает крутящий момент рабочему органу, который приводится во вращение и при движении мотовездехода вперед производит отделение почвы от поверхности грунта с последующим метанием почвенных масс по ширине минерализованной полосы. Равномерное распределение грунта по ширине минерализованной полосы осуществляется за счет ножей метателей.

Доставка агрегата может осуществляться следующими способами:

а) Самостоятельное прибытие.

Скорость перемещения мотовездехода по лесной дороге достаточно высока, 40-60 км/ч, что не исключает самостоятельного прибытия к месту лесного пожара. Тем более если очаг возгорания находится не далеко и его не обходимо своевременно и быстро локализовать. Кроме того вместе с рабочим оборудованием мотовездеход может доставить дополнительное оборудование для тушения, например шанцевый инструмент, провизия для бригады, личные вещи пожарного, инструмент, воду.

б) Автомобилем.

Транспортировка может осуществляться как специализированным транспортным средством, так и машинами, имеющими грузовой прицеп.

Максимальной эффективностью устройство обладает, при локализации лесных пожаров малой и средней интенсивности, на участках лесных массивов, где применение габаритной техники затруднительно или не представляется возможным.

Список литературы:

1. Патент РФ №2400274, 27.09.2010. Фронтальный лесопожарный грунтомет // Патент России №2400274, 2010. Бюл. № 27. / Максимов Е.И., Федорченко И.С.[и др.].
2. Патент РФ № 117091 U1, 20.06.2012. Рабочий орган грунтомета лесопожарного // Патент России № 117091 U1, 2012. Бюл. № 17. / Максимов Е.И., Федорченко И.С..
3. Патент РФ № 121448 U1, 27.10.2012. Поворотный рабочий орган лесопожарного грунтомета // Патент России № 121448 U1, 2012. Бюл. № 30. / Федорченко И.С., Максимов Е.И., Максимова А.А..
4. Бакач, В.А., Беляев, Д.А. Эффективность грунтомета при локализации и тушении лесных пожаров [Электронный ресурс] / В. А. Бакач, Д. А. Беляев, И. С. Федорченко // Международный студенческий научный журнал «Научно-образовательный потенциал молодёжи в решении актуальных проблем XXI века»: Краснояр. гос. аграр. ун-т. Ачинский ф-л.- Ачинск, 2019. — С. 227-233.

УСЛОВИЯ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА²

А. Р. Галиев, студент гр. А19-02,

П. А. Есина, студент гр. А19-03,

А. В. Кустов, к.т.н., доц.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: albert-galiev-2001@mail.ru, polina_alex13@mail.ru

Что мы представляем, когда слышим слово “ракета”? Мы представляем многотонную установку с реактивным двигателем, созданную человеком для выполнения определенных задач, которая, по команде «Пуск», устремляется в космос. Но за успешным запуском ракет-носителей (РН) стоит огромная работа, по их созданию, сборке и проверке надежности. После всех проделанных операций необходимо доставить ракету на космодром, при этом ключевым словом работ является “Безопасность”. При доставке составных частей РН особое внимание уделяется безопасной транспортировке компонентов ракетного топлива, т.к. они взрывоопасны и требуют особенных условий для транспортировки.

Транспортировка ракетного топлива является неотъемлемой составляющей в процессе подготовки к пуску ракет космического назначения (РКН). Большая часть РКН заправляются жидким ракетным топливом: керосин, гидразин или жидкий водород, который вступает в реакцию с жидким кислородом и является особо опасным компонентом ракетного топлива (КРТ). КРТ в большинстве случаев доставляются с ближайших заводов по их производству и относятся к первой категории опасных грузов и требует специальных условий доставки. Опасные грузы — это предметы и вещества, которые могут послужить причиной взрыва, пожара, нанесения ущерба, отравления, заболевания или гибели людей и животных [1].

Опасные КРТ перевозятся автомобильным и железнодорожными транспортом. Для обеспечения безопасности транспортировки груза проектируют специальные контейнеры-цистерны и вагоны-цистерны по техническим требованиям с выполнением требований ГОСТ под конкретный перевозимый груз, учитывая его свойства. Средства перевозки оснащаются всеми специальными устройствами и приспособлениями для обеспечения безопасности перевозок и выполнения сливноналивных операций. Правила эксплуатации таких устройств установлены Федеральным законом от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2].

Непосредственное осуществление транспортировки, как военными, так и гражданскими грузоперевозчиками происходит только с учетом международных и национальных правил перевозки. Международные перевозки регулируются правилами ДОПОГ (дорожные перевозки) и МПОГ (железнодорожные перевозки) [3]. Одним из важнейших требований для каждого специального транспортного средства, осуществляющего перевозку, является наличие лицензии и обозначение каждого транспортного средства специальными знаками согласно международным стандартам.

Рассмотрим более конкретные виды транспортировки КРТ на примере жидкого водорода. По инициативе С. П. Королёва были поставлены задачи: создание оборудования и технологии для эффективного использования водородно-кислородного топлива; транспортных средств для перевозки водорода; минимизация суточных потерь жидкого водорода; создание безопасного дренирования паров водорода. Решением транспортировки КРТ было создание в 1966 г. автоцистерны ТРЖВ-20 на шасси автомобильного прицепа

² Участие в XIV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» поддержано Красноярским краевым фондом науки.

(Рис.2). Задачей автоцистерны ТРЖВ-20 была доставка и подача жидкого водорода к ракетному двигателю на испытательном стенде, для этого понадобилась емкость объемом 20 м³ и рабочим давлением 0,6 МПа. Сосуд был создан из высокопрочной стали ручной сварки, затем закреплен в оболочке с помощью цепных растяжек и текстолитовых опор. Сосуд покрывали пакетами изоляции, а изоляционное пространство вакуумировали до максимально возможной степени в условиях эксплуатации [4].



Рис.2 Автоцистерна ТРЖВ-20 на шасси автомобильного прицепа.

В последующем для перевозки жидкого водорода была создана железнодорожная цистерна 8Г514 объемом 33 м³ и рабочим давлением 0,15 Мпа (Рис. 3). Учитывая низкую температуру сжиженного водорода, внутренний сосуд выполнен из устойчивого к температуре алюминиевого сплава АМг, а также специально спроектированная арматура для снижения и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с газовыми вагонами-цистернами. На безопасное выполнение сливноналивных операций и регулирование создан арматурный шкаф [5].



Рис. 3 Железнодорожная цистерна 8Г514 для транспортировки жидкого водорода.

Всего было изготовлено 60 вагонов-цистерн типа 8Г514. Для безопасной эксплуатации цистерн 8Г514 требовались частые остановки для сброса паров в атмосферу, причиной тому стало низкое рабочее давление и несовершенство теплоизоляции. Созданная цистерна доказала реальность безопасной транспортировки жидкого водорода на большое расстояние и в больших количествах, что послужило возможностью создания более совершенных по эффективности и безопасности эксплуатации вагонов-цистерн таких как ЖВЦ-100, ЖВЦ-100М и т.д.

Список литературы:

1. Германович П. К., Ильин В.М. Эксплуатация средств перекачки, заправки транспортирования ракетного топлива и горючего, 1993. — 376 с.
2. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам. ФЗ о промышленной безопасности. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902165571> (дата обращения: 18.08.2021).
3. Классы опасных грузов по ДОПОГ. [Электронный ресурс]. URL: <https://vedinform.com/freight/adr/dopog.html> (дата обращения: 15.08.2021).
4. Черемных О.Я. Создание, совершенствование конструкции, перспектива развития транспортных средств для жидкого водорода. [Электронный ресурс]. URL: <http://engjournal.ru/articles/1602/1602.pdf> (дата обращения: 19.08.2021).
5. Хранение и транспортировка жидкого водорода. [Электронный ресурс]. URL: <https://chem21.info/info/1472019/>(дата обращения: 18.08.2021).

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА

М.В. Гуляев, старший преподаватель

М.Э. Гусельников, к.т.н., доцент

А.И. Сечин, д.т.н., профессор

А.А. Сечин, к.т.н., доцент

И.И. Романцов, к.т.н., доцент

И.И. Авдеева, старший преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,

тел.(3822)-701-777

E-mail: gmv@tpu.ru

Установка комплексной подготовки газа УКПГ предназначена для сбора и подготовки природного газа до соответствия требованиям СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам» с последующей подачей его в магистральный газопровод.

На УКПГ осуществляется наиболее приемлемый способ подготовки товарной продукции – низкотемпературная сепарация (НТС). В состав УКПГ входят объекты основного и вспомогательного технологического назначения.

Подготовка газа на УКПГ осуществляется методом низкотемпературной сепарации в трех параллельно расположенных модулях подготовки газа. После сепарации сырой газ через теплообменник направляется на дожимную компрессорную станцию, где его давление повышается, после чего газ возвращается обратно в модули подготовки газа для дальнейшей подготовки. В них осуществляется осушка газа до требуемой точки росы по влаге и углеводородам. Товарная продукция УКПГ – сухой газ подаётся в систему магистральных газопроводов.

УКПГ является опасным производственным объектом. Аварийные ситуации классифицируются в зависимости от количества людей, пострадавших в этих ситуациях, людей, у которых оказались нарушены условия жизнедеятельности, размера материального ущерба, а также границы зон распространения поражающих факторов чрезвычайных ситуаций. В зависимости от объема и площади разлива нефти или нефтепродукта на местности, во внутренних пресноводных водоемах выделяются чрезвычайные ситуации следующих категорий: локального значения, муниципального значения, территориального значения, регионального значения, федерального значения.

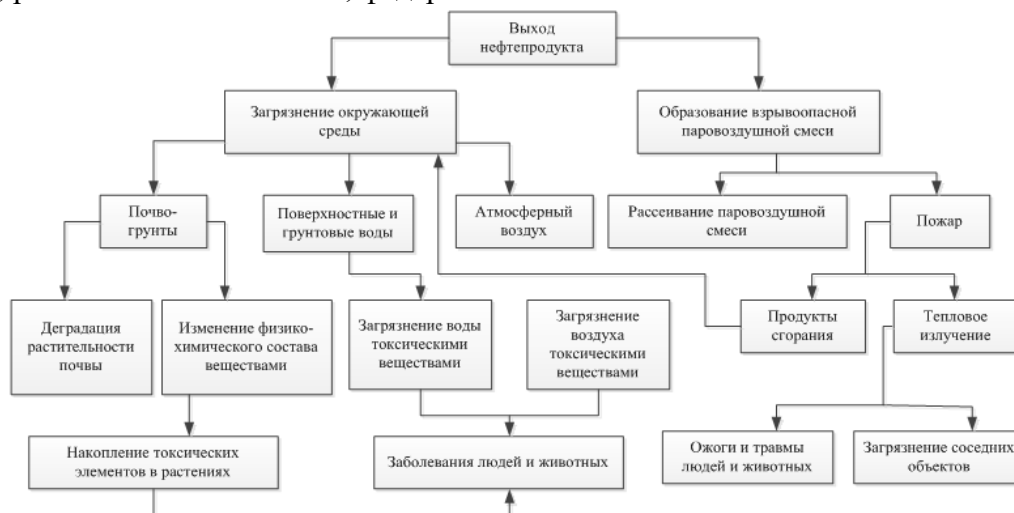


Рис. 1. Схема причинно-следственных закономерностей развития аварий

Результатом аварий на объектах, использующих нефтепродукт, кроме потерь продукции, является токсическое поражение (загрязнение) окружающей среды.

Для определения последовательности и сочетания различных событий, возникающих в результате аварий и разлива нефтепродукта, составлена схема причинно-следственных закономерностей развития аварий (рис. 1).

Отрицательное воздействие аварийно вылившейся нефти, нефтепродукта или выброса газа при различных сценариях аварий на объекте распространяется на все компоненты окружающей природной среды. При этом происходит:

- загрязнение атмосферного воздуха природным газом, парами конденсата, ШФЛУ, СПБТ, метанола, а также продуктами их сгорания
- загрязнение почвы впитавшимся продуктом.

Зоны загазованности. Природный газ по токсикологическим характеристикам относится к четвертому классу опасности (слаботоксичные вещества), и по этой причине проявления аварии, связанные с токсическим поражением от этих веществ, допускается не рассматривать.

Разлет осколков. При разрыве оборудования количество образующихся осколков, их форма и направление полета являются величинами случайными. Принято, что направления движения осколков равновероятны, рассеивание осколков по площади зависит только от расстояния от места разрыва, а зона соответствующего негативного воздействия на поверхности земли имеет форму круга.

Воздушная ударная волна (ВУВ). При возникновении аварийной ситуации, связанной с взрывом, причиной поражения людей является избыточное давление ударной волны. Косвенное воздействие избыточного давления ударной волны взрыва причиняет людям ранения и повреждения самого различного характера на больших расстояниях от центра взрыва, чем при прямом воздействии ударной волны. Оно возможно в зонах с избыточным давлением до 3 кПа.

Тепловая радиация от пожара. При возгорании разлитого опасного вещества (конденсат, метанол) в качестве поражающего фактора рассматривается возможность термического воздействия на соседние объекты и человека. Предельно допустимая интенсивность теплового излучения для человека без негативных последствий в течение длительного времени определена величиной – 1,4 кВт/м², для человека в брезентовой одежде – 4,2 кВт/м². Опасными факторами пожара, воздействующими на людей, также являются токсичные продукты горения опасного вещества (конденсат, метанол) их распространение на определенное расстояние от очага пожара.

Проведенный анализ организации позволяет сделать выводы о том, что при обслуживании УКПП необходим производственный контроль, который позволил бы установить:

- условия эксплуатации технологического оборудования рассмотренного объекта;
- реализацию планируемых организационных и технических мероприятий по повышению промышленной безопасности на УКПП;
- необходимые условия эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и техники;
- ограничить уровень риска для персонала в приемлемых границах.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (редакция от 31.12.2014) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Постановление Правительства РФ от 10.03.1999 № 263 (редакция от 30.07.2014) «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте».

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

3. Постановлению Правительства РФ от 24.11.1998 N 1371 «О регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов».

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИИ АВТОМОБИЛЯ НА
УСТАНОВЛЕННОМ МАРШРУТЕ**

М.В. Гуляев, старший преподаватель
М.Э. Гусельников, к.т.н., доцент
Мамадалиева Мавлудахон Нурмирза кизи, студент гр. 1ЕМ01
А.И. Сечин, д.т.н., профессор
А.А. Сечин, к.т.н., доцент
И.И. Романцов, к.т.н., доцент
И.И. Авдеева, старший преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777
E-mail: gmv@tpu.ru

Автомобильный транспорт является одним из наиболее опасных. Именно ДТП ставят на первое место по числу погибших и пострадавших. Они происходят по многим причинам, среди которых есть как технологические, так и человеческие факторы. На риск попасть в ДТП часто влияют сторонние факторы – такие как день недели, погодные условия и качество асфальтового покрытия.

В данной статье рассматривается возможность снижения последствий ДТП путем оптимизации маршрутов по доставке товаров. При оптимизации планируется учитывать вероятность возникновения ДТП в зависимости от выбранного маршрута.

Вероятность возникновения автомобильной аварии P_i на i -м маршруте определяется отношением числа попавших в аварию автомобилей M_i к общему числу проехавших по этому маршруту автомобилей N_i . Вероятность попадания в аварию определяется как

$$P_i = 100 \cdot M_i / N_i \quad (1)$$

Количество попавших в аварию автомобилей M_i может быть определено по сайтам ГИБДД. Для города Томска [1, 2]. Например, маршрут от лакокрасочного завода, расположенного на улице Басандайской, до магазина «Светофор» на улице Мокрушина проходит по улице Басандайской, Коларовскому тракту, Богашевскому тракту и улице Мокрушина. В период с 1 июля 2020 года по 1 апреля 2021 года на этом маршруте произошли 3 зарегистрированные в ГИБДД аварии.

Для определения численности автомобилей, проезжающих по данному маршруту за сутки воспользуемся информацией из Приложения Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования «Город Томск» на период с 2019 до 2020 года и на период до 2035 года [3]. В этих материалах указана интенсивность движения автотранспорта по всем направлениям для 60 перекрестков с временным интервалом 30 минут. В качестве примера на рис. 1 приведен перекресток улицы Басандайская с Коларовским и Богашевским трактами. Фрагмент результатов натурного обследования интенсивностей транспортных потоков приведен в таблице 1.

Таблица 1

	с I направления		с II направления		с III направления	
	на II направление	на III направление	на III направление	на I направление	на I направление	на II направление
ИТОГО :	3798	7608	348	3540	8400	360

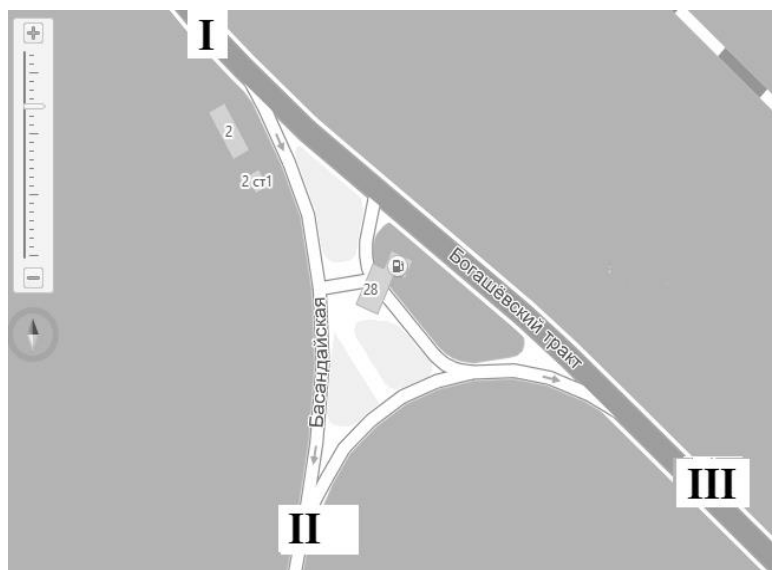


Рис.1. Направления движения на перекрестке ул. Басандайская – Богашёвский тракт

Интенсивность движения автомобилей по II направлению (ул. Басандайская) составляет $3798 + 348 + 3540 + 360 = 8046$ автомобилей в сутки.

Интенсивность движения автомобилей по I направлению (Богашёвский тракт) составляет $3798 + 7608 + 3540 + 8400 = 23346$ автомобилей в сутки.

Аналогично вычисляем интенсивность движения автомобилей по Коларовскому тракту (25464 автомобилей в сутки) и улице Мокрушина (4536 автомобилей в сутки).

Результаты расчета по (1) вероятностей автомобильных аварий для одного проезда каждой из рассмотренных улиц сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Названия улиц	Кол-во автомобилей попавших в аварию за 9 мес.	Кол-во автомобилей в авариях за сутки	Кол-во автомобилей, проехавших за сутки	Вероятность попадания автомобиля в аварию за 1 проезд, 10^{-6}
ул. Басандайская	1	0,0037	8046	0,49
Богашёвский тракт	1	0,0037	23346	0,16
Коларовский тракт	3	0,0110	25464	0,43
улица Мокрушина	0	0	4536	0
Всего:				1,08

Расчеты по данной методике позволяют выбрать наиболее безопасные маршруты движения для автотранспорта и оценить выгодность его страхования.

Список литературы:

1. Новости vtomske.ru. ДТП <https://news.vtomske.ru/c/dtp>
2. Управление МВД России по Томской области. Сводка происшествий. <https://70.мвд.пф/folder/16493024>
3. Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования «Город Томск» на период с 2019 до 2020 года и на период до 2035 года. № 1100. Материалы с сайта duma70.ru https://docviewer.yandex.ru/view/0/?page=155&*
4. Сайт Российского союза автостраховщиков. Калькулятор расчета ущерба при ДТП. http://dtp-help.ru/poleznoe/kalkulyator_ushcherba_pri_dtp

**ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДОСТУПНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

Д.В. Гусак, аспирант

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический 10/3, тел (3822)-492-265*

E-mail: vydigus@mail.ru

При развитии и разрастании населенных пунктов, на их территории размещают постах наблюдений, принадлежащие Государственной службе наблюдений за состоянием окружающей среды. На постах контролируют такие компоненты атмосферного воздуха как: оксиды азота (NO, NO₂), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO₂), пыль, формальдегид, аммиак, сероводород (H₂S) и др. [1, 2]. Необходимо это для сохранения здоровья населения и, как следствие, работоспособности. Для этого загрязнители воздуха поддерживают на уровне ПДК и ниже через контроль и очистку выбросов промышленности.

Например, в городе Томске, в настоящее время, развернуто 7 постов наблюдений, на которых измеряют разовые концентрации 13 веществ, включая описанные ранее. С полным перечнем веществ можно ознакомиться в [1, 2]. Расположение постов наблюдений представлено на рисунке 1.

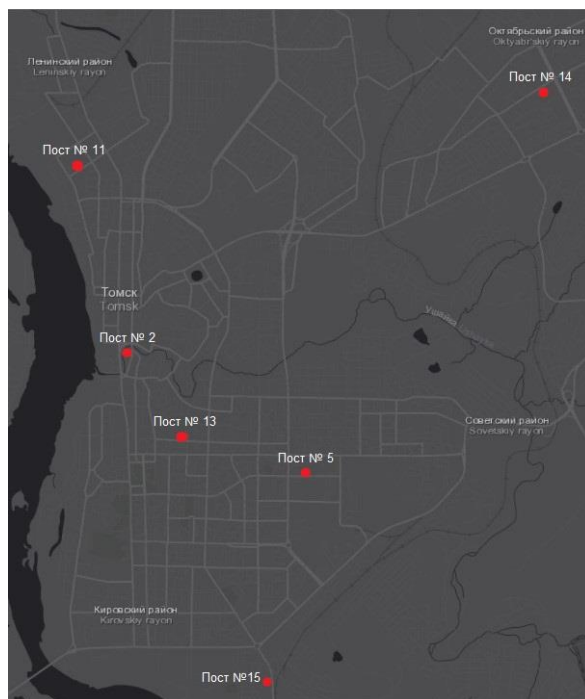


Рис. 1. Расположение постов наблюдений

Кроме стационарных постов наблюдений, используют маршрутные посты (проводят отбор проб по определенному маршруту) и передвижные посты (проводят отбор проб под дымовым факелом). Данный комплекс предоставляет количественную и качественную информацию о состоянии атмосферного воздуха, по которым разрабатывают и используют модели распространения загрязняющих веществ.

Посты наблюдений являются достаточно дорогостоящим комплексом измерительного оборудования, стоимость которого за один комплекс достигает 12 млн. рублей. Поверх этого необходимы затраты на обслуживание оборудования.

Благодаря развитию технологий производства и полупроводниковой техники, в настоящее время возможно применение различных датчиков веществ (полупроводниковых и

оптических), которые соответствуют требованиям к погрешности измерений в 25% [3] и находятся в среднем ценовом диапазоне (до 1 – 1.5 десятка тыс. рублей). Следует учитывать, что электрохимические датчики точны, но обладают сроком службы до 2 – 3 лет, ввиду недолговечности реактива. Оптические датчики, на данный момент, определяют малое количество веществ (взвешенные частицы ВЧ и СО), но точны и служат более 3 лет, находятся в низком ценовом диапазоне (тысячи рублей). При использовании датчиков веществ, их следует калибровать 1 раз в год, что можно сделать при помощи маршрутных постов, либо посредством интернет-технологий, как это делают в Южной Корее [4].

На основе оптических датчиков веществ возможно организовать сеть мониторинга атмосферного воздуха в дополнение к существующей. Дальнейшее развитие оптических датчиков веществ даст возможность расширять перечень определяемых веществ и развивать сеть мониторинга. Всё это увеличит пространственное разрешение при построении карт распространения загрязнений, послужит средством для контроля выбросов предприятий с одной стороны, и послужит гарантом точности данных о выбросах с предприятий с другой стороны.

На основе оптического датчика взвешенных частиц PMS5003 и микроконтроллера Arduino Nano собран макет, демонстрирующий ориентировочный внешний вид конечных приборов для организации сети мониторинга. Внешний вид прибора приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид прибора мониторинга атмосферного воздуха

Габаритные размеры такой модели составляют 130x100x80 мм, на ЖК-дисплее выведены значения даты, времени и концентрации частиц диаметром 2.5 и 10 микрон.

В настоящее время партия датчиков ВЧ подключают к печатным платам, включающим системы обработки и передачи информации для дальнейшей калибровки и проведения измерений.

Список литературы:

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Томской области в 2019 году» // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: 2020. – 135 с.
2. Государственный доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2020 году» // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: 2021. – 133 с.
3. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Введ. 1991.07.01. – Госкомгидромет СССР, Министерство здравоохранения СССР. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 694 с.
4. Loh B.G, Choi G.H. Calibration of portable particulate matter-monitoring device using web query and machine learning // Safety and Health at Work. – 2019. №10. – P. 452–460, doi: 10.1016/j.shaw.2019.08.002

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА НА КОСМОДРОМАХ³

П. А. Есина, студент гр. А19-03,

А. Р. Галиев студент гр. А19-02,

В. М. Корнев, к.экон.н., доц.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: polina_alex13@mail.ru, albert-galiev-2001@mail.ru

Свойства компонентов ракетного топлива (в дальнейшем КРТ), связанные в первую очередь с их токсичностью и взрывоопасностью, оказывают существенное влияние на облик всего ракетно-космического комплекса и во многом определяют технологию предстартовой подготовки ракеты космического назначения на техническом и стартовом комплексе [1].

Одним из наиболее опасных и ответственных объектов космодрома является заправочная станция. Заправочная станция, как неотъемлемая часть технического комплекса, представляют собой целый ряд сооружений и технологических систем, которые предназначены для заправки разгонных блоков и космических аппаратов компонентами ракетных топлив, сжатыми газами, спецжидкостями [2]. Месторасположение данной зоны повышенной опасности обязательно удаленно от населенных пунктов и подразумевает наличие систем пожаротушения, газового контроля, вакуумирования, термостатирования компонентов, нейтрализации токсичных паров, жидкостей. В зависимости от назначения и конструкции, каждый космический аппарат может заправляться различными КРТ, следовательно, нерационально создавать на космодроме индивидуальную заправочную станцию для каждого КРТ, а целесообразнее построить одну или две специальных станций, на которых будут заправляться все запускаемые космические аппараты и разгонные блоки [1].

Система заправки топливом ракет-носителей значительно отличается от систем заправки космических аппаратов и разгонных блоков в силу того, что заправка начинается непосредственно перед запуском ракеты-носителя, что влечет за собой больше сложных и опасных операций в процессе подготовки. Следовательно, появляется необходимость проектирования высокопроизводительных насосов для перекачки КРТ, и в целях безопасности для персонала, заправка должна быть высокоавтоматизированной, чтобы обеспечить быстрый и безаварийный слив КРТ на любом этапе подготовки к пуску [3].

Качество КРТ напрямую зависит от его хранения и подготовительных операция перед запуском ракеты-носителя. В первую очередь обратимся к емкостям для хранения КРТ. Резервуары должны отвечать всем требованиям, заявленным в ГОСТ 17032-2010 по горизонтальным цилиндрическим резервуарам, в которых предусмотрено наличие определенного барботёра для ввода кипящего азота с минимальной площадью контакта с газовой подушкой, а также большой разностью уровней зеркала жидкости и отверстий барботёра, и транспортабельность основных узлов данных ёмкостей в собранном виде для передвижения по железной дороге для повышения технологичности процесса сборки [4]. Систематические обследования резервуаров необходимы для отслеживания повреждений или нахождение износа материала, следов коррозии. Для обеспечения и поддержания температурного режима горючего в наземных емкостях (резервуарах) используется система термостатирования КРТ. Производится также барботажа\ (перемешивание) нафтали.

Контролировать качество КРТ, взятого на пробу из емкостей, необходимо периодически во время всего хранения и перед началом заправки ракеты-носителя, сравнивая состояние

³ Участие в XIV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» поддержано Красноярским краевым фондом науки.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

характеристик данного продукта, с их прописанными требованиями в нормативно-технических документах при контроле качества КРТ [2]. Контроль осуществляется средствами химической лаборатории, которая располагается на космодроме. К мероприятиям по обеспечению безопасности относятся и ограничения по максимальному количеству КРТ в хранилищах станции (приведены в таблице 1).

Таблица 1. Наибольшее количество КРТ в хранилищах станции

Наименование КРТ	Показатель, в м ³
Окислитель АТ (амил)	18
Горючие РГ-1 (нафтил)	18
Горючие НДМГ (гептил)	18
Горючее – синтин	18
Пероксид водорода ПВ-98 (продукт 030)	0,6
Горючие гидразин (амидол)	0,3

Мероприятия, направленные на обеспечение безопасности персонала и всего комплекса в целом, в большей степени являются автоматизированными. Это системы, отслеживающих нарушения, такие как: содержание кислорода в рабочей среде, выходящий за рамки установленной нормы от 19% до 23% объема; контроль выявления паров в воздушной среде гептила и амила; выявление опасно концентрации газа (к примеру азота) [1]. Для обнаружения пожарной опасности по всему комплексу размещают установки автоматического пожаротушения.

В настоящее время, стоит вопрос о создании уникальной базы хранения КРТ, которая будет предусматривать все недостатки ранее спроектированных систем хранения, таких как необходимость наличия на каждом стартовом комплексе космодрома определенного предстартового хранилища и полного его оснащения необходимыми системами подготовки КРТ, а также решения вопроса с приемом больших партий КРТ с завода производителя. Развитие проектирования баз хранения позволяет выстроить централизованную систему обеспечения КРТ по всему космодрому, что сократит общее число агрегатов и систем стартового комплекса [4] и позволит обеспечить системный подход.

Список литературы:

1. Аникейчик Н.Д., Федоров А.В. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Том 1. Объекты космической инфраструктуры. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.: ил.
2. Основы устройства ракетно-космических комплексов [Электронный ресурс]. URL: <http://diss.seluk.ru/m-raznoe/442408-4-osnovi-ustroystva-raketno-kosmicheskikh-kompleksov-uchebnoe-posobie-2012-soderzhanie-vvedenie-razdel-osnovi-postroeniya-raketno-kosmi.php> (дата обращения: 14.06.2021). Режим доступа – свободный.
3. Как устроен космодром? [Электронный ресурс]. <https://starcatalog.ru/oborudovanie/kak-ustroen-kosmodrom.html> (дата обращения: 20.07.2021). Режим доступа – свободный.
4. Методика проектирования базы хранения и подготовки высококипящих компонентов ракетного топлива космодрома «Восточный» [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-proektirovaniya-bazy-hraneniya-i-podgotovki-vysokokipyaschih-komponentov-raketnogo-topлива-kosmodroma-vostochnyy> (дата обращения: 18.06.2021). Режим доступа – свободный.

**О МЕТОДЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТЯЖЕННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНО-
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Э.Б. Завойчинская, д.ф.-м.н., проф.

*119991 г. Москва, БСП-1, Ленинские Горы, механико-математический факультет, кафедра
теории упругости
тел. +7 (495)-9395539
E-mail: elen@velesgroup.com*

В настоящей работе обсуждается системный подход к оценке безопасности эксплуатации на примере конструкций магистрального трубопровода (газо-, нефте- или продуктопровода) на стадиях проектирования и эксплуатации, использующий результаты решения проблемы длительной прочности протяженных конструкций под действием случайных эксплуатационных и внешних нагрузок и воздействий [1,2], и результаты решения проблемы оценки конструкционного риска [3-8]. Проблема решается в вероятностной постановке: вводится функция распределения вероятности разрушения конструкции $Q = Q(\tau)$, $0 \leq Q \leq 1$, в момент времени τ , $\tau \in [0, t]$; выписываются выражения для $Q = Q(\tau)$ через распределения вероятности разрушения q -тых типовых конструктивных элементов k -тых участков $Q_{k,q} = Q_{k,q}(\tau)$, $q = 1, \dots, Q$, $k = 1, \dots, K$. В качестве распределения вероятности разрушения $Q_{k,q} = Q_{k,q}(\tau)$ выбирается распределение Пуассона в следующем виде:

$$Q_{k,q}(\tau) = 1 - \varphi_{k,q}(\tau) e^{1 - \varphi_{k,q}(\tau)}, \quad \varphi_{k,q}(\tau) = \lambda_q l_q n_{k,q} \frac{\tilde{t}}{t_{f,k,q}} \tau,$$

где \tilde{t} – экономически и социально приемлемый срок службы конструкции, назначаемый нормами проектирования (например, для магистральных трубопроводов \tilde{t} находится в интервале 35–45 лет), λ_q – коэффициенты интенсивности потока разрушений q -того элемента k -того участка (количество разрушений в единицу времени на единицу длины, известное по статистике при эксплуатации аналогичных конструкций в аналогичных природно-климатических условиях), l_q – размер q -того элемента, $n_{k,q}$ – количество q -тых элементов, $t_{f,k,q}$ – долговечность q -того элемента k -того участка, которая определяется по теории предельных процессов нагружения, теории усталостного масштабного-структурного разрушения [1,2] и известным методам механики разрушения.

Участки трубопроводов находятся под различными природно-климатическими и техногенными воздействиями. Нормативными документами выделяются следующие виды возможных разрушений: механическое повреждение от деятельности третьих лиц (акты вандализма, механические воздействия землеройной и транспортной техники, взрывы, удары и т.п.), повреждение от техногенных воздействий (при разрушении соседних газонефтепроводов, химических объектов, гидроузлов атомных станций и т.п.), повреждение от аэрогидродинамических и геодинамических воздействий (нарушения почв, природные оползни и др.), повреждение от сейсмических воздействий (землетрясениях силой в восемь баллов и выше). Участки подземной прокладки могут подвергаться электрохимическим коррозионным воздействиям: почвенной коррозии, коррозии от электромагнитных воздействий и микробиологической коррозии, которые проявляются при условии $i_{c.p.} < i_0$, $i_{c.p.}$ – плотность тока катодной защиты, i_0 – плотность предельного диффузионного тока по кислороду. В результате могут возникать следующие виды дефектов: локальная коррозия, образующаяся под отслоившейся изоляцией и при сквозных дефектах изоляции, которая

подразделяется на: коррозию пятнами (мейза-коррозию), в случае, когда $d > h$ ($d = d(\tau)$ – средний линейный размер дефекта на поверхности участка, $h = h(\tau)$ – глубина дефекта по толщине участка), частным случаем которой является общая (сплошная) равномерная или неравномерная коррозия (в т.ч. «ручейковая» коррозия), которая характерна для почвенной коррозии и электрокоррозии; язвенную коррозию при $d \leq h$, характеризующуюся глубокими кавернами, в т.ч. распространяющуюся под поверхностью металла; питтинг при $d \ll h$, характерный для микробиологической коррозии. Также при одновременном воздействии эксплуатационного нагружения и коррозионной среды и условия $i_{c.p.} \geq 10i_o$ может иметь место стресс-коррозия (особенно, в местах сварных соединений), которая ведет к образованию коррозионно-механических трещин вследствие анодного растворения металла и диффузионного проникновения положительно заряженных ионов водорода в объем материала. Выписываются выражения для функции распределения вероятности разрушения участков при возможном появлении соответствующих видов макроразрушений и соотношения для вероятности разрушения $Q = Q(\tau)$.

Критерий безопасности эксплуатации формулируется следующим образом: вероятность разрушения конструкции в течение срока ее безопасной эксплуатации не должна превышать социально и экономически приемлемого значения вероятности разрушения в течение социально и экономически приемлемого срока службы конструкции согласно проекта \tilde{Q} : $Q(\tau) \leq \tilde{Q}$, откуда срок службы конструкции t_f определяется уравнением: $Q(t_f) = \tilde{Q}$.

В качестве примера приводятся результаты расчета проектных сроков безопасной эксплуатации подземного магистрального газопровода, состоящего из участков с типовыми элементами (основной металл с усталостной трещиной, кольцевое и продольное сварные соединения, отвод, переходник и днище с допустимыми дефектами), находящимися под внутренним давлением, действием изгибающих и крутильной компонент вектор - момента, продольной и перерезывающими компонентами вектор – усилия в поперечных сечениях, с учетом вышеперечисленных воздействий. Найдены сроки службы участков с учетом различных групп воздействий.

Список литературы:

1. Завойчинский Б.И. Долговечность магистральных и технологических трубопроводов. Теория, методы расчета, проектирование. М.: Недра, 1992. 271 с.
2. Zavoychinskaya E. A Stochastic Theory of Scale-Structural Fatigue and Structure Durability at Operational Loading, Understanding complex systems, Springer Nature Switzerland AG, 2021. p. 71-89.
3. Завойчинский Б.И., Завойчинская Э.Б. Волчанин А.В. Вероятностная оценка остаточных сроков безопасной эксплуатации протяженных конструкций // Справочник. Инженерный журнал. М.: Машиностроение. № 7. 2012. с. 41-46.
4. Махутов Н.А. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. М.: МГФ «Знание», 2018. 1016 с.
5. Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения // под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова. М.: Ленанд. 2018. 720 с.
6. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука. 2017. 724 с.
7. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. 1104 с.
8. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. – М.: ОАО «Изд-во «Наука». – 2000. 467 с.

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ
МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОЧВАХ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

А.С. Рыбин¹, аспирант

М.В. Носова^{2,3}, аспирант,

В.П. Середина², д.б.н., профессор,

Ю.М. Федорчук¹, д.т.н., профессор,

¹*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,*

²*Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,36,*

³*АО «ТомскНИПИнефть», г. Томск, пр. Мира, 72.*

тел.8(913)8733214

E-mail: nsmvsh@mail.ru

Особенности поведения и превращения углеводородов в почвенной толще весьма разнообразны и специфичны для тех или иных условий среды, поэтому их характеристика обладает высоким информативным потенциалом с точки зрения понимания и оценки, происходящих в почве процессов [1]. При больших дозах загрязнения почва не способна самостоятельно вернуться к первоначальному естественному виду и набору свойств, а в ходе постехногенных преобразований способна трансформироваться в чрезвычайно токсичный хемозем. Очевидным становится необходимость последовательной очистки таких почв от углеводородного поллютанта посредством проведения рекультивационных работ.

Несмотря на значительное количество работ, закономерности распределения нефти и сопутствующих их продуктов – минерализованных жидкостей в почвах и их влияние изучены недостаточно. В частности, большинство работ посвящены влиянию нефтяного загрязнения и особенностям миграции нефтепродуктов в почвах гидроморфного и полугидроморфного ряда почв северных регионов. В почвах Западной Сибири (подзолистые, торфяно-подзолистые, пойменные, болотные), данный аспект изучен в меньшей мере [2-6].

Поэтому объектом данного исследования являются аллювиальные почвы, подверженные загрязнению нефтью, и их фоновые аналоги.

Предмет исследования – трансформация структурно-функциональной организации основных параметров аллювиальных почв под воздействием нефтяных углеводородов.

Цель работы – анализ особенностей влияния нефтяного загрязнения на свойства аллювиальных почв и возможность использования полученных данных для проведения восстановительных работ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить факторы почвообразования исследуемой территории и дать общую характеристику фоновых почв;
- выявить закономерности миграции и аккумуляции нефти и нефтепродуктов в почвах;
- изучить воздействие нефтяного загрязнения на морфологическое строение, физические свойства и физико-химическое состояние аллювиальных почв;
- исследовать распределение солей в почвенном профиле нефтезагрязненных почв.

В качестве фона служила незагрязненная аллювиальная луговая обычная грунтово-глеявая тяжелосуглинистая почва, формирующаяся в центральной части поймы. Нефтезагрязнённые почвы определяются как хемоземы нефтезагрязнённые по аллювиальной серогумусовой типично-глеевой средне-мелкой почве. Для определения профильных характеристик почв образцы отбирались по основным генетическим горизонтам, для оценки особенностей латеральной миграции солей – методом конверта в соответствии с ГОСТ 28168-89. Для выявления механизмов миграции поллютантов (НП, легкорастворимых солей) использованы материалы полевых наблюдений по 2 почвенным разрезам (глубиной до 100см) и 26 прикопкам (глубиной до 50 см). Нефтепродукты в почве определены

флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Аналитические исследования содержания и состава легкорастворимых солей выполнены в соответствии с ГОСТ 26423-85. Математическая обработка данных производилась с помощью пакета программ Statistica 6.0. Определенные закономерности наблюдаются в распределении солей в зависимости от зон нефтяного разлива. Так, по мере приближения к эпицентру загрязнения в составе водных вытяжек наблюдается увеличение количества ионов хлора в составе легкорастворимых солей, что связано с увеличением концентрации нефтепродуктов в этом направлении.

Максимальное содержание хлорид-ионов наблюдается в верхней 20-см толще почв. Определенные отличия отмечены и в характере распределения данных ионов в профиле почв различных зон загрязнения. В частности, в образцах почв, подверженных максимальному загрязнению нефтепродуктами (эпицентр разлива), отмечается накопление хлорид-ионов не только в верхних горизонтах, но и в нижележащих слоях (20-40, 40-60 см). Характер латерального распределения сульфат-ионов сходен с таковым для хлорид-ионов, однако по абсолютному содержанию сульфат-ионы значительно уступают хлорид-ионам. В профильном распределении сульфат-ионов наблюдается тенденция резкого их уменьшения.

Засоление почв сочетается с повышенным содержанием НП, что определяет одну из специфических особенностей техногенного галогенеза в районах гумидного почвообразования, приводящего к формированию антропогенно-преобразованных почв, представленных битуминозными хемоземами. Результаты корреляционного анализа указывают на прямую связь между содержанием легкорастворимых солей и НП в загрязнённых почвах – коэффициент корреляции (r) составляет 0,87 (на глубине 0–10 см) и 0,83 (на глубине 10–30 см).

Таким образом, при нефтяном загрязнении в почвах могут возникать специфические, характерные для природных и техногенных факторов, процессы, которые не имеют природных аналогов в естественных условиях. В результате один и тот же техногенный геохимический импульс (сырая нефть и минерализованные жидкости) приводят к последовательному появлению в почвах различных вторичных продуктов

Список литературы:

1. Shuisen Chen and Ming Zhong., Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil: [Electronic resource]. Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches, 2019. – 1-12 pp.
2. Constantin Streche, Diana Mariana, Adrian Alexandru Badea, Irina-Aura Istrate. Decontamination of Petroleum-Contaminated Soils Using The Electrochemical Technique Remediation Degree and Energy Consumption. – Scientific Reports, 2018. – 1-10 pp.
3. Солнцева Н.П., Поведение загрязняющих веществ в почвах Закономерности миграции, трансформации и закрепления поллютантов // Добыча нефти геохимия природных ландшафтов. – 1998. – 61-134 с.
4. Солнцева Н.П., Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. . – 2002. – № 1. – 9-20 с.
5. Середина В.П., Непотребный А.И., Садыков М.Е. Характер изменения свойств почв нефтезагрязненных экосистем в условиях гумидного почвообразования // Вестник КрасГАУ. №10. 2010. С. 49-54.
6. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 270с.

РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО РЕШЕНИЯ ПРИ УГРОЗЕ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

И.И. Романцов, к.т.н., доцент

А.И. Сечин, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Повышение эффективности производства и улучшение качества продукции, выпускаемой промышленными предприятиями, тесно связано с интенсификацией технологических процессов. Однако для целого ряда производств наибольшей интенсификации можно достигнуть лишь приближением технологического процесса к опасной зоне [1, 2, 3]. Иными словами, при интенсификации этих процессов приходится приближаться к границам интенсивного протекания и устойчивости.

Именно в этой зоне неустойчивости в ходе технологического процесса под влиянием внешних возмущений происходит отклонение опасных параметров [3, 4], и выход их за пределы, обусловленные регламентом, такую ситуацию принято считать предаварийной. Как правило, в предаварийном режиме функционирования, возврат опасных параметров в регламентные границы может быть осуществлен применением специальных управляющих (защитных) воздействий.

При недостаточной эффективности управляющих воздействий возникает неуправляемая предаварийная ситуация. Когда же при этом продолжают увеличиваться отклонения опасных параметров и накапливается мощность, способная повредить оборудование, такую ситуацию классифицируют как аварийную. В этом режиме возвращение опасных параметров в регламентные границы уже не представляется возможным, и во избежание аварии и ее последствий, процесс необходимо остановить или даже ликвидировать [4, 5]. Решение задач направленных на определение вероятности принятия правильного решения операторами обслуживающими опасные производственные объекты (ОПО), в последнее время становится все актуальнее.

Практики отмечают, что у операторов обслуживающих один и тот же ОПО, разная скорость принятия решения, разный уровень опыта и разный алгоритм решения проблемы. Следовательно, даже при принятии одного и того же решения, время на это действие будет разным, что в условиях развития аварии будет определяющим в тяжести формирующейся ситуации.

Но как организовать учебный процесс оператора по развитию необходимых качеств? Какие методические приемы необходимо привлекать или разработать? Как проводить профессиональный отбор? Какими критериями характеризуются и оцениваются качества оператора? Нужна ли градация поступающей информации? Какую вспомогательную информацию нужно предоставить оператору при поиске решения?

Целью данной работы являлась разработка формализованной модели принятия управляющего решения при угрозе появления и развитии аварийной ситуации.

Согласно формируемой формализованной модели [3, 4, 5], этап принятия управляющего решения может быть представлен в виде системы $S(t)$ (Рис. 1.). Сформулируем подзадачу повышения качества принимающего решения при угрозе появления и развитии аварийной ситуации – оценка опасных и пограничных состояний контролируемой системы, при появлении которых необходимо принимать чрезвычайные меры по предотвращению негативных ситуаций. Для этого необходимо:

1. Выявить пространства $\{I_m\}$, по которым оценивается состояние системы.
2. На основе статистического анализа определить математические ожидания состояний S_n и S_n . Получить уравнение некоторой разделяющей поверхности A .

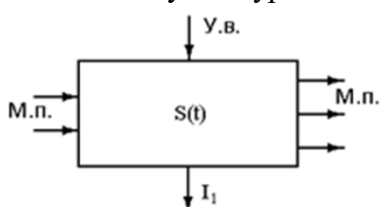


Рис.1. Формализованная модель принятия управляющего решения при угрозе появления и развитии аварийной ситуации

М.п. – Материальный поток поступающий в систему и выходящий из нее. У.в. – управляющие воздействия на систему. I_1 – информация, позволяющая следить за изменениями параметров системы. $S(t)$ – состояние системы.

Решение поставленной задачи начинаем с анализа системы функционирующей по закону материального баланса при соблюдении которого система находится в устойчивом состоянии. Изменения в системе начинаются с изменением некоторых параметров влияющих на нее. Рассмотрим нарушения связанные с материальным потоком. Чаще всего это связано с раскрытием системы.

Разумеется, что в графическая интерпретация данной ситуации будет определяться как некоторое ситуационно-результатирующее поле в координатах по Y – управляющие воздействия на технологический процесс, по X – информация, позволяющая следить за изменениями параметров системы во времени.

Очевидно, что при устойчивом состоянии системы, график будет представлять прямую линию, когда нет возмущающих либо управляющих воздействий, отклик системы будет стабилен.

Тогда поверхность, характеризующая опасные отклонения в результате некоторых воздействий на систему и принимаемые вследствие этого решений, будет представлять собой прямую линию, которая описывается уравнением (1):

$$\frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{y_2 - y_1}; \quad (1)$$

где $M(x_1, y_1), N(x_2, y_2)$ – координаты некоторых точек данной прямой.

Для решения уравнения (1) берем точки M и N принадлежащие данной прямой. Получаем уравнение разделяющей поверхности:

$$y = Ax - B. \quad (5)$$

Для математического обеспечения оценки опасности производства введем критерий опасности $D(x, y)$, который зависит от рассмотренных факторов, изменение же последних может привести к опасным ситуациям.

Если $D(x, y) > 0$ – имеем параметры процесса находящиеся в безопасной зоне.

Если $D(x, y) \leq 0$ – имеем параметры входящие в опасную зону.

Тогда зависимость критерия опасности:

$$D = y - Ax + B; \quad (6)$$

Уравнение (6) имеет большое значение для методологии разработки и проведения деловых игр в области промышленной безопасности.

Список литературы:

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 678 с.
2. Рей У. Методы управления технологическими процессами. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
3. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
4. Вольтер Б.В., Сальников И.Е. Устойчивость режимов работы химических реакторов. М.: Химия, 1981. 195 с.
5. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 127 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ АЭРОВЗВЕСЕЙ НЕКОТОРЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

А.И. Сечин, д.т.н., профессор

О.Б. Назаренко, д.т.н., профессор

Ю.А. Амелькович, к.т.н., доцент

А.А. Сечин, к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

Проблема устойчивости технологического оборудования химических производств привлекает внимание многих исследователей и является темой большого числа работ [1, 2]. Неустойчивая работа любого промышленного агрегата, как правило, сопровождается какими-то потерями. Неустойчивость режима работы химического реактора приводит в одних случаях к остановке или сокращению производительности, в других – к браку продукта, в третьих – к аварии, и т.д. Поэтому выяснение условий устойчивости можно рассматривать как задачу о работоспособности и даже экономичности технологического процесса [3], особенно это относится к технологиям наноматериалов.

Воспламенение пылевоздушных смесей является многопараметрическим процессом, поэтому принятые классификации и характеристики пыли являются достаточно условными и не могут учитывать всего разнообразия факторов, оказывающих влияние на ее воспламенение.

Большая вероятность аварийных ситуаций при ведении процессов получения наноматериалов обусловлена тем, что они, предположительно, протекают в области концентрационных пределов воспламенения, но данных об этом нет.

В связи с этим разработка новых устройств и методик для изучения критических условий распространения пламени в аэровзвесах наноматериалов продолжает оставаться актуальной.

Целью данной работы было оценить возможность использования известной методики по изучению критических условий распространения пламени в аэровзвесах наноматериалов при варьировании некоторых технологических факторов.

За основу экспериментальной установки было принято устройство [4, 5, 6] для определения критических условий распространения пламени в аэровзвесах. Само устройство и методика определения нуждались в доказательстве принципиальной возможности применения для подобных систем.

Изучаемым образцом явилось наножелезо, представляющее собой мелкодисперсный порошок серого цвета. Вторым образцом был порошок алюминия, который при получении был пассивирован в водородной среде. Проведенные исследования показали возможность изучения подобных материалов в моделируемых условиях. Исследования показали, что порошок наножелеза в состоянии аэровзвеси категоризируется как пожароопасное вещество, его концентрация составила 89 г/м^3 . В свою очередь порошок алюминия пассивированный в водороде горит при концентрациях в 40 г/м^3 .

На рисунке 1 представлены фотографии горения наножелеза которые показывают, что аэровзвесь при концентрации 100 г/м^3 горит в режиме газового горения, где в первую очередь горят наиболее мелкие частицы, а уже через $0,077 \text{ с}$ наблюдается горение более крупных частиц и через $0,154 \text{ с}$ горят уже более крупные фракции. Несомненно, что при наличии более крупных фракций времени индукции для их горения просто не хватит и они не будут участвовать в этом процессе.



Рис.1. Горение порошка наножелеза
а) начало горения б) горение через 0,077 с в) завершение горения 0,154 с

В результате проведенного исследования была установлена возможность исследования распространения пламени в аэрозвесьях наноматериалов с минимально критическими концентрациями пылевых взвесей и изменяемой температурой инициирующего источника зажигания.

Определены критические концентрации пылевых взвесей наноматериалов, по которым возможно распространение пламени. Было установлено, что порошок наножелеза в состоянии аэрозвеси категоризируется как пожароопасное вещество, его концентрация составила 89 г/м^3 . Порошок алюминия пассивированного в водороде в состоянии аэрозвеси категоризируется как взрывоопасное вещество, его концентрация составила 40 г/м^3 .

Список литературы:

1. Вольтер Б.В., Сальников И.Е. Устойчивость режимов работы химических реакторов. М.: Химия, 1981. 195 с.
2. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 127 с.
3. Обновленский П.А., Мусяков Л.А., Чельцов А.В. Системы защиты потенциально опасных процессов химической технологии. Л.: Химия, 1978. 224 с.
4. Патраков Ю.Ф., Сечин А.И., Сечин А.А. Методика экспериментального определения пределов распространения пламени по пылевоздушным смесям // Горный журнал. 2017. № 12. С. 87–90.
5. Сечин А.А., Патраков Ю.Ф., Сечин А.И. Об экспериментальном определении пределов распространения пламени по пылевоздушным системам // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 3. С. 168–172.

РАСЧЕТ АППАРАТА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ИЗ ВОДЫ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

А.И. Сечин, д.т.н., профессор

Н.В. Пилипец, к.т.н., зав. НПЛ «Чистая вода»

А.П. Матвеев, аспирант ФГАОУ ВО НИ Томский политехнический университет

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

Разработка методов и средств очистки воды от солей жесткости, снижение в ней токсичных и вредных для организма примесей в условиях Западной Сибири является актуальной задачей при реализации питьевого водоснабжения.

Цель работы: Разработать расчет аппарата удаления из воды солей жесткости при механоактивации.

При разработке опытного образца технологического аппарата необходимы исходные данные, которые бы послужили основой для проектирования оборудования.

При расчете аппарата механоактивации задавали: рабочий объем, диаметр D , высоту H аппарата и его рабочие параметры (p - рабочее давление, t - температура, c - концентрация распределяемой среды); фазовое состояние перемешиваемой среды и ее физико-механические свойства (ρ - плотность, μ - динамическая вязкость), а также ее состав по жидкой или твердой фазе.

Экспериментальным путем был определен диапазон чисел Рейнольдса, при установлении которых в воде происходит значительное снижение солей жесткости. В результате проведенных вычислений было определено, что процесс перемешивания при числах оборотов мешалки 1650 – 17000 об/мин является турбулентным (таблица 1).

Таблица 1. Значение чисел Рейнольдса в зависимости от числа оборотов мешалки

Обороты/мин	1650	4500	6000	7000	10000	12000	17000
Число Рейнольдса	57976	158115	210820	245957	351367	421640	597323

В пределе при Re стремящимся к $+\infty$ может быть достигнута 100% однородность раствора или суспензии, однако скорость вращения ограничивается скоростью вращения мешалки 17000 об/мин. На основании опытных данных, были получены характеристики аппарата интенсивного перемешивания с применением (таблица 2) шестилопастной мешалки для умягчения воды.

Таблица 2. Характеристика аппарата интенсивного перемешивания

Тип мешалки	Характеристика мешалки			
	D/d	H/D	b/d	S/d
Шестилопастная	2,02	0,3	0,12	0,4

Примечание: D – диаметр сосуда; d – диаметр мешалки; H – высота слоя жидкости в мешалке; b – ширина лопасти мешалки; S – шаг между лопастями).

Для интенсификации процесса очистки воды от образовавшихся солей жесткости обработанный раствор находился в отстойнике в течение 2-10 минут, а затем подвергался фильтрованию через волокнистый материал.

По полученным экспериментальным данным для фильтрации суспензии при напоре $0,53 \cdot 10^5$ Па скорость фильтрации составляла $0,11 \cdot 10^{-3}$ м/с. Тогда в соответствии с уравнением [1, 2] скорость фильтрации:

$$\omega = \frac{\Delta P}{\mu \cdot (R_{oc} + R_{фп})} \quad (1)$$

Подставив в уравнение (1) численные значения ω , ΔP и μ , получаем $(R_{oc} + R_{фп}) = 3,62 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$.

Подставляя в это же уравнение численные значения ω , ΔP и μ , полученные для воды, получаем $R_{фп} = 3,44 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$ тогда

$$R_{oc} = (R_{oc} + R_{фп}) - R_{фп} = 0,18 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1} \quad (2)$$

Полученные экспериментальные данные по удалению осадка твердых частиц с достаточно малыми размерами фильтрацией через волокнистую насадку с диаметром пор от $2,39 \cdot 10^{-6}$ м до $3 \cdot 10^{-6}$ м объясняются следующей, наиболее вероятной, гипотезой. Очевидно, что частицы осадка оседают в порах фильтра по механизму «касания» в две стадии.

На первой стадии большая часть твердых частиц заполняет боковые, «глухие» и поперечные поры в фильтрующей насадке, практически не задерживаясь в продольных порах, через которые и проходит поток фильтруемой жидкости. Сопротивление насадки на этой стадии остается практически неизменным, что и отмечено в постановочных экспериментах по изменению скорости фильтрации при постоянном напоре [2].

На второй стадии частицы осадка оседают в изгибах продольных пор, снижая их рабочее сечение и резко увеличивая сопротивление фильтрующей насадки, так как размер частиц меньше размера пор всего в 1,7 – 2,14 раз, тем более что поры имеют переменные размеры по длине. Это подтверждается вычисленным значением удельного сопротивления осадка по уравнению

$$r_{oc} = 200 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \Phi^2 / d_{ш}^2 \varepsilon^3 = 8,48 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-2}, \quad (3)$$

где, ε - порозность осадка, 0,73, Φ – фактор формы частиц, 1,33. Сопротивление слоя такого осадка толщиной 0,01 м равно $R_{oc} = 0,85 \cdot 10^{-11} \text{ м}^{-1}$ и в 4,6 раза меньшей величиной сопротивления осадка в продольных порах насадки, составляющей всего $0,18 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$. Тем не менее, и эта малая величина осадка в продольных порах резко сказывается на фильтрующих характеристиках фильтра [3].

Из выполненных экспериментов следует, что независимо от скорости фильтрации и концентрации твердых частиц в суспензии, критичным для волокнистой насадки высотой 0,1 м, площадью фильтрации 1 м², диаметром волокна 2,8 мкм и порозностью 0,8056 является масса накопленного в насадке осадка 1,89 - 1,9 кг.

С учетом проведенных вычислений уравнение фильтрации запишется следующим образом:

$$\Delta P = \frac{4,819 \cdot 10^9 dV}{d\tau F} \quad (4)$$

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено:

Удельная электропроводность, соледержание, жесткость, вязкость, рН, окислительно-восстановительный потенциал зависят от интенсивности перемешивания (от 1650 до 17000 об/мин).

Время контакта фаз, необходимое для умягчения воды до 76 % составило 43 с, размер зародыша кристалла, образованный в результате воздействия 0,072 % мас. среднеквадратичный диаметр частиц – 1,419 мкм.

Разработанная малогабаритная установка, на основе предложенной методики расчета аппарата удаления солей жесткости из раствора водопроводной воды, имеет производительность до 30 л/час.

Список литературы:

1. Косинцев В. И., Михайличенко А. И., Крашенинникова Н. С., Миронов В. М., Сутягин В. М. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов / Под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с.
2. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Куликова М.В., Прокудин И.А., Косинцев М.В., Фильтрационная очистка сточных вод // Современные наукоемкие технологии, 2008, - № 4. - С. 74-76.
3. Физико-химические основы химических процессов получения неорганических солей: учебное пособие / В.И. Косинцев, М.В. Куликова А.И. Сечин, С.В. Бордунов, И.А. Прокудин– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 58с.

СЕКЦИЯ 7. ДИЗАЙН И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОГО РАДИАТОРА, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ СОСТАВНОЙ ЧАСТЬЮ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРО И РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Е.А. Алфёрова, к.физ.- мат.наук., доц.,

М.А. Першина, студент гр. 4АМ01

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина, 30

Email: spersi930@gmail.com

Особая роль в развитии машиностроения отводится освоению новых методов проектирования и автоматизированных технологических процессов изготовления изделия и доведение его функциональных свойств до совершенства. В данной работе рассматривается конструкторское изделие - герметичный медный радиатор, используемый как составная часть системы водяного охлаждения электро и радиоэлементов, входящий в состав оборудованной стойки на подводную лодку. Основная функциональная задача данного радиатора - обеспечение теплоотвода от плат и радиоэлементов.

Радиатор изготавливается из медной плиты листа ГПРХХ, так как медь является отличным проводником тепла. При изготовлении, согласно ГОСТ 859-2001, используется только чистейшая медь марки М1 (содержание чистой меди должно быть не менее 99,90%). Оставшуюся массовую долю составляют примеси висмута, железа, никеля, олова, цинка, сурьмы, мышьяка, свинца, серы, кислорода, фосфора и серебра [1].

Радиатор с заданными параметрами давления в 10 АТМ спроектирован, изготовлен и уже долгое время активно применяется на производстве. Но с увеличением нагрузки давления до 20 АТМ возникла необходимость в модернизации конструкции медного герметичного радиатора охлаждения так как в процессе экспериментальных испытаний радиатора происходит: нарушение герметичности, выдавливание стенок и вытекание охлаждающей жидкости.

В связи с выявленной проблемой возникла необходимость спроектировать новую конструкцию радиатора, которая бы отвечала новым условиям работы. В результате работы необходимо обеспечить требуемые функциональные показатели при испытаниях и в условиях эксплуатации на подводной лодке (изменяющиеся в зависимости от сезона года значения температуры, скачки давления, вибрационные нагрузки на этапе ввода в эксплуатацию, сохранить коррозионную устойчивость металлической конструкции при не постоянной относительной влажности воздуха) [2].

В работе методом конечных элементов был проведен расчет напряженно - деформированного состояния радиатора при давлении 20 АТМ, особое внимание было уделено болтовым соединениям. Расчет проводился в программном комплексе Solid Works Simulation.

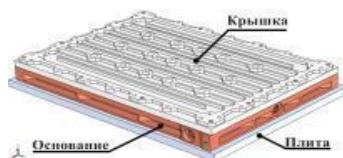


Рис.1. Трехмерная модель радиатора.

Нагрузка задавалась на внутренние поверхности крышки радиатора 1 и основания радиатора 2 (рис. 1). При натурных испытаниях фиксация радиатора не производилась, поэтому в трехмерной модели присутствует плита, выполняющая роль «опоры» на которой расположен радиатор. Плита жестко зафиксирована. Граничное условие между соприкасающимися деталями (основание крышка и плита) задано контактом «без проникновения».

На рис. 2 показано распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений. Из полученных расчетов видно, что максимальные напряжения сосредоточены около болтовых соединений, при этом эквивалентные напряжения превышают предел текучести материала.

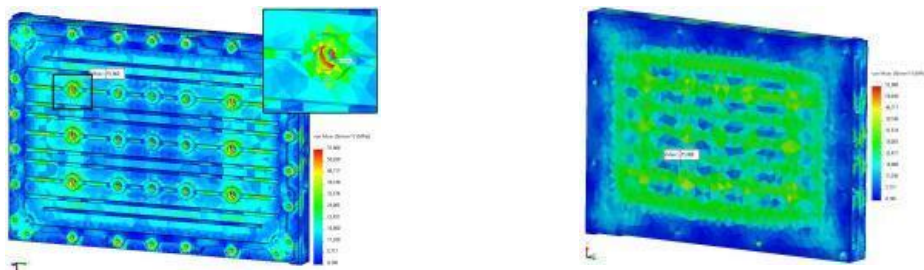


Рис. 2. Распределение напряжений von Mises, МПа, на внешней стороне основания радиатора.

Анализ результатов полученных для имеющейся конфигурации радиатора при нагрузках в 20 АТМ показал, что данная нагрузка является избыточной, поскольку в модели возникают пластические деформации, что не допустимо.

Таким образом, необходимо изменить конструкцию медного радиатора, сделать его конструкцию монолитной и применить технологию перекрёстного глубокого сверления. Это позволит исключить пластическую деформацию, которая была на болтовых соединениях. Данное решение позволит также уменьшить себестоимость изделия за счёт использования одного элемента в данной конструкции. Так же предложенное конструктивное решение позволит улучшить эксплуатационные характеристики, а именно повысить рабочее давления до требуемых атмосфер (рис. 3, рис.4).

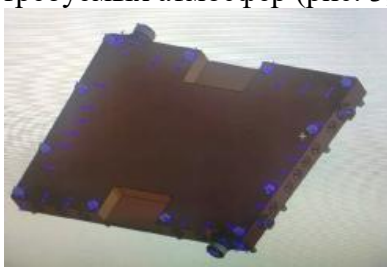


Рис. 3. Модернизированный медный радиатор.

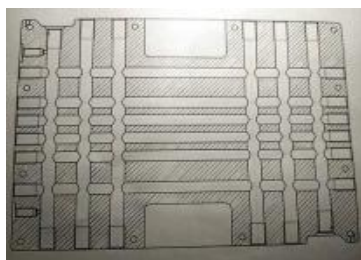


Рис. 4. Чертеж Модернизованного медного радиатора с помощью программного комплекса Solid Works Simulation.

Список литературы:

1. Медь М1: состав, характеристики, применение медного сплава М1 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ntcm.ru/info/med-m1/> (Дата обращения 29.06.2021).
2. Отличительные особенности медного и алюминиевого радиатора. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sakhkor.ru/materialy/что-лучше-отводит-тепло-мед-или-алюминий.html> (Дата обращения 29.06.2021).

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА И КОНСТРУКЦИИ БИНОКЛЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ОТДЫХА И ТУРИЗМА

А. В. Куклина, аспирант гр. 3-А1-64

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-606-333*

E-mail: 20108912@mail.ru

Несмотря на стремительный рост популяризации туристической сферы в России на сегодняшний день спрос на бинокли среди туристов не очень высокий. С улучшением фотокамер современных смартфонов развивается не только тенденция отказа от классических фотоаппаратов, но и повышенная потребность в любительской съемке. В багаже современного туриста чаще всего окажется смартфон с хорошей камерой или цифровой фотоаппарат, а не бинокль для наблюдения за природными пейзажами [1]. В связи с этим возникает актуальность использования бинокля в созерцательном наблюдении природы, т. к. с помощью фотокамер возможно только суетливо «запечатлеть» момент, акцентируя свое внимание на процессе съемки. Поэтому разрабатываемый дизайн устройства предлагает новый формат отношений человек-природа [2].

Проблемой исследования является отсутствие и редкое появление современных форм и конструкций биноклей. Несмотря на развитие оптических характеристик используются не очень привлекательные цветовые решения, одни и те же материалы покрытия корпуса. Несомненно, данный факт влияет на потребительский спрос товара [3].

Целью работы является разработка современного дизайна и конструкции бинокля для туризма с учетом эргономики и технологии покрытия корпуса (рис.1).

Основная конструкция корпуса бинокля и дополнительных комплектующих (фиксатор камеры смартфона, фиксатор бинокля на голове) выполнена из поликарбоната. Разработанный авторский материал из стружки цветных карандашей является альтернативным вариантом для тактильного покрытия бинокля в фигурных углублениях под пальцы рук пользователя. Также можно изготовить корпус устройства только из пластика, предварительно сделав мастер-модель с зернистой фактурой в фигурных выемках. Эргономичная форма корпуса бинокля спроектирована на основе результатов проведенного экспертного оценивания по определению расположения фигурных углублений под пальцы пользователя на корпусе устройства.

Главной особенностью конструкции бинокля является разделение корпуса на две части, т.е. монокуляры могут использоваться независимо друг от друга. В связи с этим появляется возможность поделиться оптическим устройством со своим напарником по путешествию. Источником вдохновения разработанной конструкции послужил образ найденного монокуляра, произведенного примерно в середине прошлого века. В результате изучения устройства выяснилось, что данный образец является частью распиленного бинокля. В ходе опроса владельца монокуляра был установлен тот факт, что изучаемый прибор был привезен из Якутии, где в то время местные охотники для экономии денежных средств приобретали один бинокль на двоих, который в дальнейшем разделяли на две части.

Для разделения монокуляров был разработан новый механизм, который также отвечает за регулировку межзрачкового расстояния от 54 до 74 мм, что соответствует среднему расстоянию между центрами зрачков глаз взрослого человека. Настройка осуществляется за счет вращения рифленых роликов, зубья которых связаны между собой как шестерни в часовом механизме. Следовательно, при вращении одного ролика, второй ролик также поворачивается вокруг своей оси. Во время вращения рифленые ролики откручиваются от резьбовых втулок, прикрепленных к корпусу бинокля, за счет чего увеличивается расстояние между монокулярами. Также рифленые ролики закреплены на корпусе с помощью стержня с

ограничителем. Новая конструкция регулировки межзрачкового расстояния отличается плавной регулировкой и надежной фиксацией монокуляров в нужном положении.

Для более удобной эксплуатации бинокля было спроектировано новое съемное крепление для темляка (кистевое ремня), которое можно убрать при необходимости. Крепление состоит из двух асимметричных металлических колец, которые одеваются на специальные выемки в корпусе устройства перед закручиванием крышек объективов и оснований окуляров. Для защиты оптической системы бинокля спроектированы защитные крышки из силикона для объективов и окуляров, которые могут быть зафиксированы к металлическим кольцам с помощью тонкого шнура.

Также для комфортного использования бинокля во время туристического путешествия разработано устройство для закрепления бинокля на голове. Достоинством аксессуара является возможность использования бинокля без его фиксации в руках пользователя. Особенно это актуально для людей с непроизвольным дрожанием рук (тремором). Данное устройство состоит из ободка, который закрепляется на голове пользователя, и специальных телескопических держателей бинокля, фиксирующихся к прибору с помощью пластиковых хомутов. Для закрепления бинокля над головой используются специальные пластиковые зажимы на ободке, в которые вставляются телескопические держатели. Для эксплуатации бинокля пользователь должен опустить держатели вместе с оптическим прибором вниз на уровне глаз. Конструкция устройства позволяет опустить держатель на 90 градусов, что обеспечивают специальные выступы в нижней части ободка. Для надежной фиксации ободка на голове использована эластичная лента, которая огибает затылочную часть головы пользователя.

В комплект бинокля входит съемное крепление для камеры смартфона, которое одновременно служит защитной крышкой одного из окуляров. Достоинством такого варианта крепления является возможность зафиксировать данный адаптер на корпусе бинокля на постоянной основе, а не хранить его как отдельный аксессуар. Фиксация смартфона осуществляется за счет прозрачного круглого зажима из монолитного поликарбоната, расположение которого регулируется с помощью винта-барашка.

Практической значимостью результатов исследования является улучшение дизайна корпуса и конструкции туристского бинокля, способствующее предотвращению морального износа изделия, а также повышению потребительского спроса товара на рынке среди туристов и любителей наблюдать за природными явлениями.



Рис. 1 Разработанная конструкция корпуса бинокля и его комплектующих (фиксатор камеры смартфона, фиксатор бинокля на голове)

Список литературы:

1. Кухта, М. С. Промышленный дизайн: учебник / М. С. Кухта, В. И. Куманин, М. Л. Соколова, М. Г. Гольдшмидт; под ред. И. В. Голубятникова, М. С. Кухты. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 312 с.
2. 3. Зеленев Л.А., Фролов О.П. Принципы дизайна...; Зеленев Л.А. История и теория дизайна: Учебное пособие. – Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2000. – 46 с.
3. Анализ рынка биноклей в России [Электронный ресурс]. – URL: <https://drgroup.ru/Analiz-rynka-binoklej-v-Rossii.html> (дата обращения: 25.05.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

М. А. Кухта, д.ф.н. профессор

К. А. Ильинова, студентка гр. 8ДМ11

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: kai15@tpu.ru

В настоящее время, освоение космического пространства является неотъемлемой частью научного мира человечества. Люди давно научились запускать ракеты и спутники в космос. Теперь наука шагнула вперед, люди производят посадку летательных аппаратов на планеты и малые тела солнечной системы. Не смотря на все эти достижения, вопрос эргономики в условиях космического пространства остается малоизученным в промышленном дизайне.

Большинство приборов и деталей интерьера космической станции разрабатывается на Земле. Как известно на все тела находящиеся в близи поверхности любого астрономического объекта действует сила тяжести. Сила тяжести складывается из гравитационного притяжения этого объекта и центробежной силы инерции, вызванной его суточным вращением [1]. Когда космический корабль отдаляется от Земли сила гравитационного притяжения уменьшается, что создает условия микрогравитации. Поэтому на этапе проектирования прибора дизайнер должен учитывать условия невесомости.

Естественная поза человека в условиях микрогравитации имеет особенности такие как: сгибание голеностопного сустава к подошве стопы, сгибание тазобедренных и коленных суставов, легким отведением бедра, легким сгибанием туловища вперед, плечи, руки и локти поднимаются вверх, а шея наклоняется вперед, как показано на рисунке 1 [2].

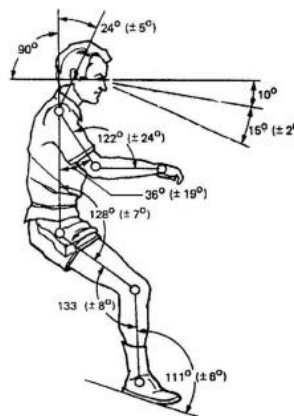


Рис. 1 Естественная поза в условиях микрогравитации.

Таким образом при проектировании корпуса оборудования необходимо учесть особенности расположения тела человека в космосе. А так же необходимо расположить на корпусе прибора органы управления так чтобы космонавт мог управлять одной рукой прибором, а другой рукой обеспечить себе фиксацию тела в пространстве. В этой ситуации необходимо оснастить корпус прибора специальными ручками. В случае, когда прибор требует управление двумя руками, необходимо достигнуть фиксацию тела другими способами. Это влияет на скорость работы может космонавта и может её увеличить в несколько раз.

Микрогравитация - это не единственное явление которое следует учитывать при разработки объекта интерьера на космической станции. Как известно полет космонавта производится за пределами атмосферы. Эта среда наиболее подвержена воздействию

космических лучей. Космические лучи на 90% состоят из протонов, которые движутся с высокими энергиями и способны вызывать ложное срабатывание сенсорных приборов [3].

Создавая объект для космонавтов также необходимо учитывать материалы. Так как каждый прибор сначала необходимо протестировать на работоспособность в более жестких условиях чем при полете в космос. Необходимо учитывать ударопрочность и деформацию материала. Многие материалы склонны трескаться и крошиться при высокой механической нагрузки, это так же необходимо учитывать и избегать при проектировании. Под данные условия подходит АБС-пластик, алюминиевые сплавы (АМг2, АМг3, АМг6), сталь марок 12Х18Н10Е, 07Х16Н6, стеклоткань и стеклопластик. Важно учитывать не только материал, но и его толщину. Как правило берется толщина не менее двух миллиметров для вышеперечисленных материалов.

Разработка дизайна объектов для космоса не ограничена учетом физических явлений и подбором материалов, немаловажно учитывать эргономические особенности. Эргономика уделяет особое внимание физическим и психологическим факторам человека. Исследует взаимоотношения людей и машин, людей и рабочей среды чтобы определить лучшие комбинации их взаимодействия. Здесь так же необходимо учитывать долгое пребывание в малогабаритном пространстве, эмоциональную нагрузку и длительность трудового дня.

Так как космонавту необходимо провести как можно больше экспериментов за ограниченное время, необходимо учесть эстетику проектируемого прибора и безопасность его использования.

Под безопасностью прибора с точки зрения дизайна понимается скругление углов и граней прибора, надежная фиксация прибора к рабочей поверхности, фиксация комплектующих прибора, обеспечение плавного съема комплектующих, исключение острых кромок углов, заусенцев, острых наплывов клея, шпатлевки, проволоочной кантовки крепежных элементов.

Таким образом, очень важно учитывать все особенности проектирования приборов для космонавта, прибывающего на космической станции. Правильный дизайн прибора может значительно облегчить работу космонавта и уменьшить время его нахождения на орбите. Это позволит не только упростить жизнь космонавта, но и благоприятно скажется на его здоровье.

Список литературы:

1. Тарг С. М. Сила тяжести // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. — Т. 4. — С. 496. — 704 с. — 40 000 экз. — ISBN 5-85270-087-8.
2. Богомолов В.В., Григорьев А.И., Козловская И.Б. Медицинское обеспечение здоровья экипажей международной космической станции // Сб. «Третий Международный Аэрокосмический Конгресс, 2000. — Т. 4. — С. 261.
3. Машинное обучение помогает исследовать космические лучи сверхвысоких энергий [Электронный ресурс]. – URL: <https://rscf.ru/news/presidential-program/mashinnoe-obuchenie-pomogaet/#!> (дата обращения: 06.10.2021).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СТАНКА WATTSAN 1290 LT DUOS

М.С. Кухта, доктор философских наук, профессор

Д.А. Котова, студент гр. 4НМ01

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777*

E-mail: eukuh@mail.tomsknet.ru, dakota@tpu.ru

Проектирование любого изделия сопровождается последовательностью важнейших этапов, концепция лазерного станка позволяет рассмотреть часть из них. При анализе эксплуатации лазерного станка WATTSAN 1290 LT DUOS (рис.1), мы выявили некоторые технические проблемы и недостатки в управлении, при этом обеспечили качество станка на современном уровне [1].

Ниже предлагаем подробно рассмотреть ряд следующих технических проблем в станке WATTSAN 1290 LT DUOS.

Габариты станка велики: длина составляет 2240 мм, ширина 1420 мм, высота 1010 мм [3]. Станок предназначен для серийного производства и раскроя неметаллических материалов, он подходит для малого производства, поэтому мы можем уменьшить габариты в длину и ширину, и наоборот увеличить по высоте, чтобы использовать это пространство для повышения производительности станка, посредством размещения второго рабочего поля.



Рис. 1. Лазерный станок WATTSAN 1290 LT DUOS

Площадь одного рабочего поля составляет 1,08 м² на две лазерные головки (1200×900 мм), это выявляет причинно-следственную связь из предыдущего пункта, площадь рабочего поля недостаточна, чтобы повысить производительность при прежних габаритах. Вместе с тем, одно рабочее поле может помещать только две лазерные головки, что также сказывается на производительности.

Для отвода тепла от лазерных трубок предусмотрена система водяного охлаждения. Шланги присоединяются к охлаждаемому контуру таким образом, чтобы поток шел в нужном направлении. Такое открытое подключение может привести к серьезным поломкам [4].

Система управления RuiDa RDC6442G, непосредственно имеет свои преимущества на рынке лазерных станков с ЧПУ, но маленький дисплей и кнопочная панель навигации уступает системе, которая оснащена сенсорным контроллером.

Для устранения ряда технических проблем и выявленных недостатков, была предложена следующая концепция станка (рис.2). На рисунке, также показано расположение лазерных трубок и чиллеров.

Габариты станка стали наиболее оптимальными: длина составила 1100 мм, ширина 1000 мм, а за счет высоты, которая достигла 1800 мм, мы разместили второе рабочее поле, тем самым повысив производительность станка.

Площадь каждого рабочего поля такого станка, составляет 0,72 м² на две лазерные головки (800×900 мм), то есть общая площадь составляет 1,44 м², на четыре лазерные головки. Именно поэтому, предложенные габариты станка являются наиболее оптимальными для повышения производительности станка. Рабочие поля, расположены под некоторым углом, что позволяет освободить место для двух нижних лазерных трубок. Стоит отметить, что на две пары рабочих головок приходится два чиллера, о них и пойдет речь ниже.

Система водяного охлаждения была видоизменена, поскольку оба чиллера располагаются во внутренней части станка. Чтобы облегчить работу оператора, все необходимые элементы были перенесены на передний вид. Такое расположение чиллеров, позволяет закрыть панелью присоединения к контуру, тем самым минимизируя поломку.

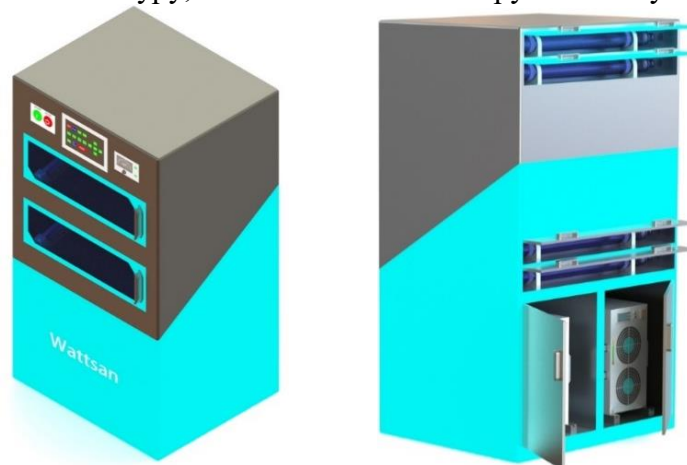


Рис. 2. Концепция станка WATTSAN

Сравнивая данную концепцию с лазерным станком WATTSAN 1290 LT DUOS, можем прийти к выводу, что предложенные массогабаритные параметры оптимальны и повышают производительность станка. В то время, как мощность лазерных трубок в WATTSAN 1290 LT DUOS, которая достигает 100 – 120 Вт, выше, за счет удлинения конструкции. При проектировании станка WATTSAN (рис.4), также учитывалась длина лазерных трубок, 1000 мм. Такая длина позволяет достигать мощности до 100 Вт, что также имеет отличный показатель производительности. На качество продуктов резания это не повлияет, а увеличенное в двое количество лазерных головок, позволит эксплуатировать станок на высоком уровне.

Дизайн лазерного станка приобрел существенные изменения формы корпуса, цветового решения и внутренних составляющих. Концепция позволяет управлять станком на более современном уровне, а также повышает производительность, что положительно сказывается рабочем процессе [2].

Список литературы:

1. Кухта М.С. / Промышленный дизайн / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.И. Соколова, М.Г. Гольдшмидт // Изд-во Томского политехнического университета / 2013 / 302 с.
2. Кухта М.С. / Основы дизайна / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт // Изд-во Томского политехнического университета / 2009 / 300 с.
3. Компания LASERCUT: [Электронный ресурс] / URL: <https://laser-cut.ru/katalog/lazernyie-stanki/lazernyj-stanok-wattsan-1290-lt-duos/> (Дата обращения: 10.05.2021).
4. Компания LASERCUT: [Электронный ресурс] / URL: <https://laser-cut.ru/vendor/files/komplektuyushhie/cw5.pdf> (Дата обращения: 10.05.2021).

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОГАСИТЕЛЯ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЁСТКОСТЬЮ

М.С. Кухта, д.ф.н., профессор

М.А. Кузнецов, магистрант гр.4НМ01

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел. (3822)-606-333

E-mail: bb1998boss@mail.ru

В процессе работы различные механизмы, машины и оборудование излучают вибрацию. Вибрация приводит к увеличению динамических нагрузок в элементах конструкций станков и сопряжениях, снижается несущая способность деталей, возникают усталостные разрушения. Именно поэтому вибрацию необходимо снизить до допустимого уровня, для этого используются различные виброзащитные системы.

Существуют активные и пассивные системы виброзащиты, при этом управление параметрами вибрации можно производить только в активных системах, потому что они предполагают изменения параметров. [1]

Известна следующая активная виброзащитная система: виброгаситель с квазинулевой жесткостью (рис.1).

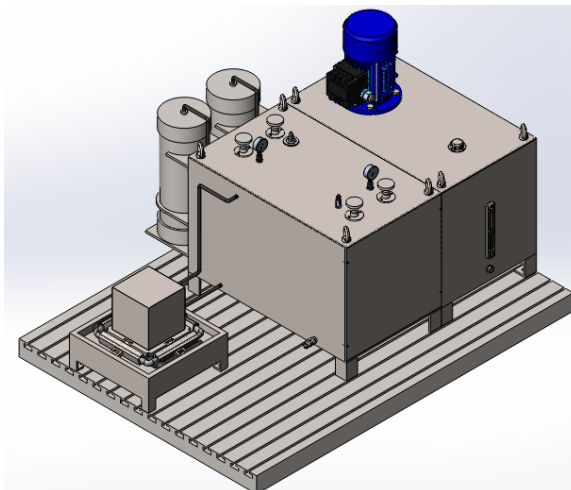


Рис.1. Виброгаситель с квазинулевой жесткостью

Недостатком виброгасителя с квазинулевой жесткостью (рис.1.) [2] являются: большие габаритные размеры, открытое размещение гидравлических элементов, отсутствие автоматизированного управления, большое количество узлов и деталей.

На данный момент актуальна задача: создание виброзащитной системы минимальных размеров, с минимальным количеством деталей и узлов, с автоматизированным управлением гидравлическими элементами.

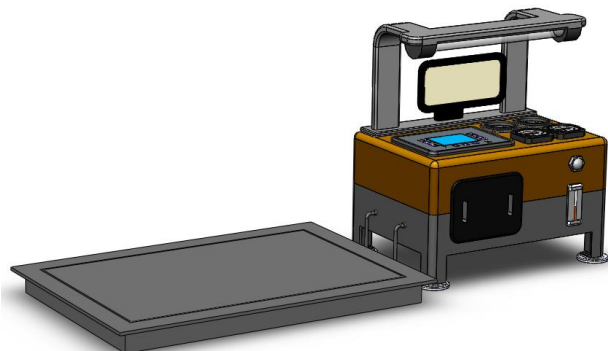


Рис.2. Модернизированный виброгаситель с квазинулевой жесткостью.

Рассмотрим виброгаситель с квазиулевым жесткостью, представленный на рисунке (рис.2).

При силовом (ударном или постоянном) воздействии на основание, возникает вибрация, параметры которой отображаются на панели управления устройства.

Панель управления данным устройством содержит следующие элементы: монитор, дисплей, индикаторы давления и расхода. Рассмотрим более подробно каждый элемент.

Для отображения текущей вибрации, воздействующей на основание виброгасителя с квазиулевым жесткостью, предусмотрен монитор. На мониторе отображаются параметры вибрации, такие как виброскорость, виброускорение и виброперемещение. В зависимости от изменения этих параметров выполняется регулирование жесткости системы. Регулирование жесткости системы осуществляется с помощью дисплея и индикаторов текущего давления и расхода для двух гидравлических линий.

В конструкции данного устройства предусмотрен дисплей, для регулирования жесткости системы путём управления гидравлическими элементами. Также в конструкции данного устройства предусмотрены индикаторы текущего давления и расхода для двух гидравлических линий, в соответствии, с гидравлической схемой, которые показывают текущее давление и расход в гидравлических линиях.

В результате регулируя жесткость системы за счет гидравлических элементов, можно добиться оптимальных значений параметров вибрации, таких как виброскорость, виброускорение и виброперемещение.

На боковой поверхности конструкции предусмотрены: съемная панель для замены гидравлических элементов с утопленными ручками, которые не будут мешать работе оператора, крышка для залива масла в бак, а также уровень, показывающий объем масла в баке.

Конструкция устройства имеет опорные ножки, с помощью которых размещается на полу производственного помещения, крепление к полу заводского помещения обеспечивается при помощи рым-болтов. Ножки специально выполнены в форме дисков, это обеспечивает дополнительную устойчивость устройству в условиях эксплуатации.

Для обеспечения комфортной работы оператора устройства предусмотрено освещение панели управления, представленное на рисунке (рис.2).

Таким образом, получено устройство, имеющее автоматизированное управление гидравлическими элементами, позволяющее эффективно снижать уровень вибрации до оптимального значения за счет нелинейной жесткости, а также более устойчивое при работе на резонансном режиме. Конструкция, представленного устройства имеет минимальные габаритные размеры по сравнению с аналогами, имеет простую и удобную панель управления (оператор сразу понимает принцип управления устройством), освещение панели управления. Цвета, в котором выполнена конструкция, выбраны в соответствии с условиями эксплуатации.

Список литературы:

1. Сравнительный анализ виброзащитных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vibro-lab.ru/sravnit-vibroizolyatori> (дата обращения 22.03.2020).
2. Кузнецов М. А. Виброгаситель с квазиулевым жесткостью: бакалаврская работа / М. А. Кузнецов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ), Отделение материаловедения (ОМ) ; науч. рук. А. Н. Гаврилин. — Томск, 2020.
3. Основы дизайна: учебное пособие / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ

*М.С. Кухта, д.ф.н., профессор
Хамидов Б.Х., студент гр.4НМ01*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел. (3822)-606-333*

E-mail: bhh1@tpu.ru

Токарная обработка металла представляет собой последовательное снятие металлических слоев с заготовки для получения изделия с заранее определенными параметрами. Процедура производится на токарных станках, в оснащение которых входят различные виды сверл, резцов и ряд других специнструментов.

Существуют различные токарные станки, которые можно разделить на следующие группы: универсальные токарные станки и токарные станки с числовым программным управлением.

Универсальные токарные станки характеризуются тем, что выполняют различные виды токарной обработки, такие как обтачивание цилиндрических, конических, фасонных поверхностей и т. п. При этом задание режимов резания происходит за счет регулирования различных не автоматизированных элементов, такие как рычаги, тумблеры. [1]

Токарные станки с ЧПУ отличаются от универсальных токарных станков тем, что имеют числовое программное управление, при этом управление параметрами резания происходит за счет введения программы выполненную в G-кодах в систему станка. [2]



Рис.1. Универсальный токарный станок

Рассмотрим универсальный токарный станок (рис.1), который имеет недостатки, такие как опасность попадания стружки при точении на тело рабочего, низкая точность получаемых изделий, недостаточность освещения рабочей зоны, а также отсутствие автоматизированного управления, сложное управление, ограничение по размерам обрабатываемой детали, скопление в рабочей зоне большого количества стружки.



Рис.2. Токарный станок с ЧПУ

Рассмотрим токарный станок с ЧПУ (Рис.2), который имеет следующие недостатки, такие как опасность попадания стружки при точении на тело рабочего, ограничение по размерам обрабатываемой детали, сложное управление, скопление в рабочей зоне большого количества стружки.

Вышерассмотренные токарные станки имеют общие недостатки, такие как, опасность попадания стружки при обработке на тело рабочего, ограничение по размерам обрабатываемой детали, а также сложное неавтоматизированное управление.

На данный момент актуальна задача создания токарного станка с числовым программным управлением, который будет обеспечивать высокую точность обработки деталей, безопасность оператора, а также возможность обработки деталей больших размеров.

На рисунке (Рис.3) представлен токарный станок с числовым программным управлением

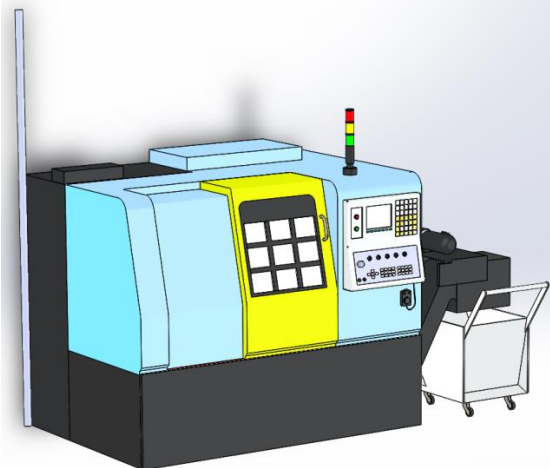


Рис.3. Модернизированный токарный станок с ЧПУ.

Модернизированный токарный станок с ЧПУ характеризуется удобным и простым для понимания числовым программным управлением. Числовое программное управление исключает воздействие человеческого фактора при обработке изделия, что обеспечивает высокую точность изготовления деталей. Для обеспечения удаления стружки из рабочей зоны предусмотрено устройство для отвода стружки. Цветовое решение выбрано на основе существующих станков, а также в соответствии с эксплуатационными условиями, поскольку возможно попадание различных масел и грязи на корпус устройства. Желтым цветом обозначена передвижная панель для обеспечения безопасности оператора при обработке от попадания стружки. Данная панель оснащена окнами, для наблюдения за процессом обработки.

Таким образом модернизированный токарный станок с ЧПУ оснащен удобной панелью управления, безопасен при работе оператора, обеспечивает высокую точность обработки детали и удаление большей части стружки из рабочей зоны, принято цветовое решение в соответствии с эксплуатационными условиями.

Список литературы:

1. Использование станков с программным управлением/Справочное пособие. Под ред. В. Лесли. Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1976. 420 с.
2. Волчкевич Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А. Автоматы и автоматические линии. Ч. I/Под ред. Г. А. Шаумяна. М.: Высшая школа, 1976. 336 с.
3. Основы дизайна: учебное пособие / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНО – КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТОКАРНОГО СТАНКА

*М.С. Кухта, проф.,
А.В. Черниченко, студент гр. 4НМ01
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-444-555
E-mail: chernichenko98@mail.ru*

В нашем современном мире ни одно крупное предприятие не обходится без станков. Благодаря станкостроению возможна работа с металлом и деревом: фрезерование, строгание, сверление, точение, шлифование... Существуют различные виды станков в зависимости от целей и задач. В данной статье речь пойдёт о модернизации токарного станка.

За основу был взят уже готовый рабочий токарный станок фирмы JET модель GH-1440ZX (Рис. 1). Особенности этого станка по заявлению завода изготовителя являются: «Компактный размер с большой возможностью обработки. Проходное отверстие в шпинделе 80 мм. С помощью съёмного мостика возможно повысить диапазон обрабатываемой детали».



Рис. 1. JET GH-1440ZX.

Дизайн как показано на рисунке 2 имеет не прямые углы, что образует прямоугольную форму станка, а плавные органические линии с выступающими сверху краями с синей подсветкой. Подсветка показывает, что станок находится в рабочем состоянии. При поломке станка или неисправности индикация меняется на красный цвет.

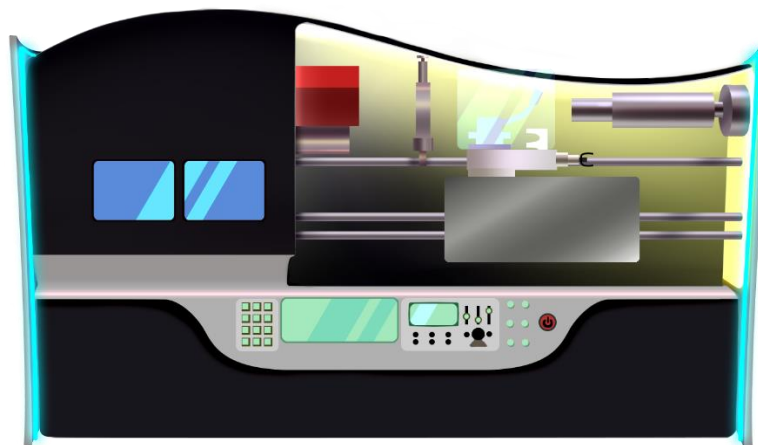


Рис. 2. Главный вид.

Из рисунка 2 видно, что в приборной панели появилось сенсорное управление, это позволит без труда перемещать суппорт и заднюю бабку касанием пальца по сенсорной панели что значительно упростит работу. Также присутствует панель с выводом данных нагрузки на станок при обработке детали это позволит понимать на сколько станок перегружен и при необходимости возможно увеличить или уменьшить нагрузку путём увеличения/уменьшения скорости обработки детали. При необходимости в ручном управлении станка также присутствуют джойстики управления станком. Для более комфортного доступа к двигателю токарного станка правая часть панели снимается. Это позволит не отодвигать станок от стены для его ремонта что снижает время ремонта и плановый осмотр станка.

Для подсветки боковых панелей была выбрана LED – лента. Светодиодная лента будет иметь два цвета освещения синий и красный. В зависимости от режима работы. Располагаться ленты будут в проёмах между станком и боковой панелью. Благодаря чему свет будет мягко рассеиваться по боковым панелям станка и не будет слепить глаза, отвлекая от работы рабочий персонал.

Был переработан дизайн токарного станка. Внешний вид стал более органическим это благоприятно скажется на психике пользователей станка. Вместо всех рычагов и маховичков используется сенсорное управление. Рабочему персоналу достаточно просто прикоснуться к сенсорной панели для регулирования. Установлены LED – панели для освещения рабочего пространства с тёплым световым потоком, что благоприятно скажется на здоровье рабочего персонала. Регулируется свет сенсорным планшетом, установленным в панель управления. Возможно изменение светового потока благодаря встроенному диммеру, также возможно точно включать свет в нужной области станка. Боковые панели оснащены светодиодной лентой, которая показывает неисправность станка пульсирующим красным цветом. Если станок находится в неисправном состоянии – цвет светодиодной ленты синий. Свет направлен на боковые панели. Благодаря чему свет мягко подсвечивает боковые панели и не слепит глаза рабочему персоналу. Возможны ещё модернизированные изменения путём выпуска подобного станка и эксплуатации в реальную рабочую среду, при этом получая обратную информацию от пользователей такого токарного станка.

Список литературы:

5. Кухта, М.С. Промышленный дизайн: учебник / М. С. Кухта, В. И. Куманин, М. И. Соколова, М. Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
6. Кухта М.С. Основы дизайна: учебное пособие / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.
7. Дитер Рамс 10-правил-хорошего-дизайна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://4brain.ru/blog/>. (дата обращения 10.12.18.).
8. Васильева М.О., Пыжова Е.Н. Специфика формообразования конструкций в дизайне элементов управления // *Gaudeamus Igitur*. – 2017. – № 1. – С. 33-36.
9. Козловская В.Б. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, 10. В.Н. Сацукевич. - Минск: Техноперспектива, 2011. - 543 с., 12 л. цв. ил. Ефимов А.В. и др. Дизайн архитектурной среды: Учебник для вузов / Г.Б. Миневрин, А.П. Ермолаев, А.В. Шимко, Н.И. Щепетков, А.А. Гаврилина, Н.К. Кудряшов – М.: Архитектура. – С. 2004-504 с. ил.
11. Кухта М.С. Дизайн. Материалы. Технологии: энциклопедический словарь / под. Ред. В.И. Куманина, М.С. Кухта; Томский политехнический университет. – Томск; Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 320 с. ил.

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА И ЭРГОНОМИКИ КОРПУСА МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА Mazak INTEGREX i-200

Ю.И. Петренко, студент гр. 4НМ01

Руководитель М.С. Кухта, проф.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: yip3@tpu.ru, kuhta@tpu.ru

Настоящая статья посвящена теме промышленного дизайна. «В современном мире дизайн пронизывает почти все сферы деятельности человека, являясь одним из главных элементов культуры. Основой для дизайнерской деятельности являются знания закономерностей художественного творчества и инженерного конструирования, владение современными методами научных исследований в области материалов и технологий, понимание законов эргономики, экономики, социологии и психологии [1]». «Сегодня промышленный дизайн - это оригинальная творческая идея, воплощенная в материальных объектах с тем, чтобы сделать жизнь человека более комфортной, разнообразной, интересной и радостной [2]». Далее пойдёт речь о модернизации станка. За основу взят многоцелевой станок Mazak INTEGREX i-200, изначальный вариант представлен на рисунке 1.

Перед тем как приступить к улучшению станка, был проведён анализ станков других производителей. Замечено следующее: Стойка управления имеет ограничения по степеням свободы. У некоторых фирм, в большом количестве присутствует красный цвет (или оранжевый). Что порой дезориентирует в расположение красной кнопки экстренной остановки. Имеются замечания по удобству расположения и размещения - системы распределения сжатого воздуха станка ЧПУ. Отсутствует рабочие пространство для чертежей и технологических карт. Имеются выступающие острые кромки и углы корпуса.



Рис. 1. Mazak INTEGREX i-200 [3]

Эргономика. Для удобства оператора была видоизменена стойка управления. Добавлено больше возможностей по перемещению и смене положения стойки в пространстве. Стойка разделена на два сегмента по принципу ноутбука. Имеется дисплей и панель управления с клавиатурой, рисунок 2. Переходим к кодировке информации. В задачах зрительного поиска преимущество имеют кодовые категории цвета и формы, обеспечивающие минимальное время поиска объектов. На станке присутствуют определённые подсказки. На дверце доступа в рабочую зону присутствуют стрелки. Стрелка направлена в ту сторону, которую необходимо произвести движение для закрытия. Так же отдельно предусмотрено место для чертежей и технологических карт. Расположено она на

стенке станка, за панелью управления, рисунок 2. На рабочем участке присутствует естественное и искусственное освещение (общее и местное). Согласно требованиям, ГОСТ Р 54944-2014, СНиП 23-05-95 (EN12464-1), а также типу помещения и роду деятельности оператора. После доработки станок имеет следующий вид, рисунок 2.

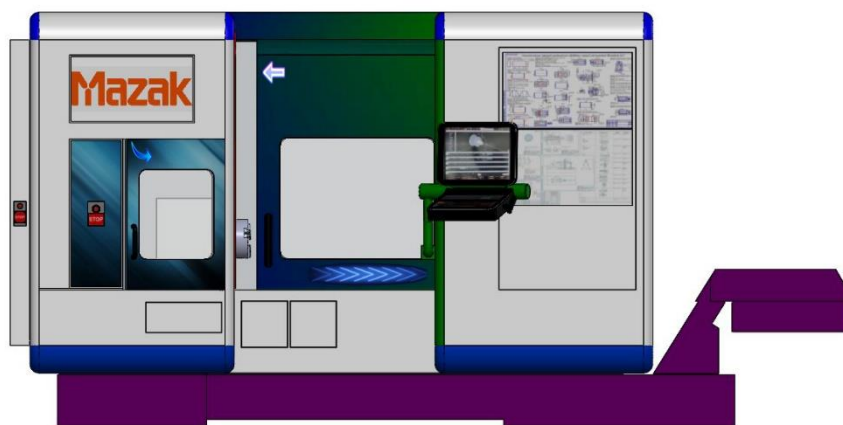


Рис. 2. Результат. [1]

В процессе разработки проекта, проведён анализ станочного оборудования, изучена литература и методы исследования раскрывающие особенности подходов к теме, построена модель в Solidworks. На основе анализов аналогов сформулированы требования к конструкции и дизайну станка. А также эстетические, эргономических и технологических требования. Найдены варианты цветографического исполнения, которые разнообразят продукцию и расширяют возможность её выбора[4,5,6,7].

Список литературы:

1. Кухта, М.С. Промышленный дизайн: учебник / М. С. Кухта, В. И. Куманин, М. И. Соколова, М. Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. Проектирование и моделирование промышленных изделий: Учеб. для вузов / С.А.Васин, А.Ю.Талашук, В.Г.Бандорин, Ю.А.Грабовенко, Л.А.Морозова, В.А.Редько; Под ред. С.А.Васина, А.Ю.Талашука. - М.: Машиностроение-1, 2004 - 692 с, ил.
3. MAZAK. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mazak.com/ru/> свободный. Дата обращения: 07.09.2021.
4. Зеленая книга. Промышленный дизайн (Стандарты. Лучшая практика. Продьюсинг. Дизайн-школы)/ Под редакцией В.Н. Княгинина. - СПб. : Фонд <Центр стратегических разработок> <Северо-Запад>, 2012. - 65 с.
5. «Промышленная эстетика - США». Девятая по счету американская выставка, устроенная в Советском Союзе, в порядке соглашения о культурном обмене между странами. Линдон Б. Джонсон.
6. Курушин В. Д. Промышленный дизайн. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 560 с.: ил.
7. Иттен И. Искусства Цвета. — М.: Дмитрий Аронов, 2015. – 95 с.

ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ФРЕЗЕРНОГО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА С ЧПУ

*А.А. Плотер студент гр. 4НМ01,
М.С. Кухта, Доктор философских наук,
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-701-777
E-mail: aap143@tpu.ru*

В статье пойдёт речь об эргономических принципах, при конструировании фрезерного деревообрабатывающего станка с ЧПУ.

Традиционный станок - на подвижном портале расположены четыре шпинделя, заготовки фиксируются на столе. Четыре шпинделя служат для повышения производительности рабочей системы.

Первый недостаток этой компоновочной схемы – при замене фрез, оператор вынужден принимать неудобную позу - на корточках. (см. рис.1) Фрезы меняются с черновой на чистовую операции, несколько раз в день.

В стандарте [3], п. 4.3.3 - с) положения лежа, стоя на коленях и сидя на корточках должны быть исключены в максимально возможной степени (даже в работах по техническому обслуживанию);

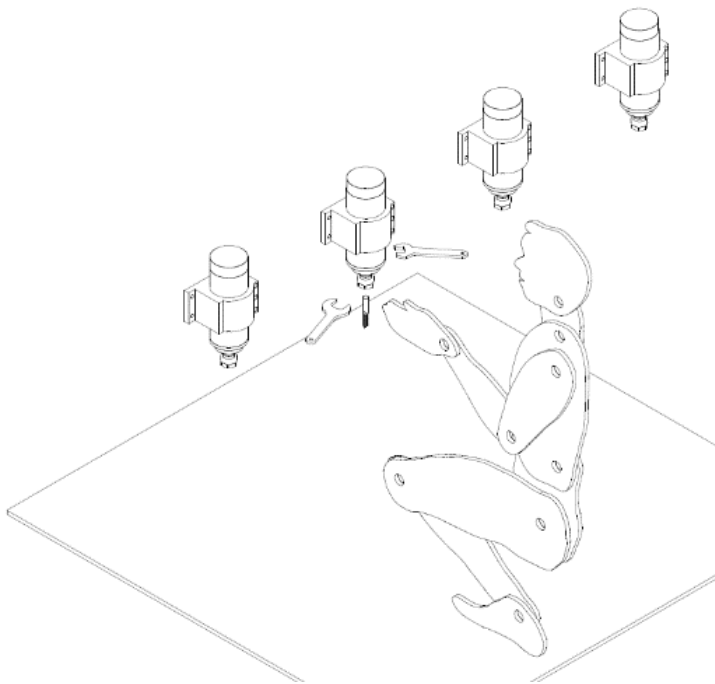


Рис.1 Поза на корточках

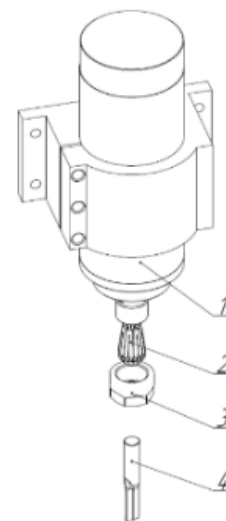


Рис.2. Шпиндель подвижный

Второй недостаток – при затягивании гайки поз. 3 рис. 2 фреза поз. 4 втягивается вместе с цангой поз. 2 в конус ротора шпинделя поз. 1

Следствием чего – невозможно выдержать размер по оси z для четырёх деталей. Коррекция помогает только для одной зоны обработки.

При проектировании производственных систем человек должен рассматриваться как главный составной элемент и неотъемлемая часть разрабатываемой системы, включающий ее производственный процесс и рабочую среду [2].

Для устранения выявленных недостатков, была предложена и реализована другая компоновочная схема фрезерного станка:

На подвижном портале смонтировать захват заготовок – перемещается по осям x y z заготовка. На станине установлено неподвижно четыре шпинделя – инструментом вверх.

На новом станке замена фрез в удобной позе – стоя. Рис.3



Рис. 3 Поза стоя.

Точность вылета фрезы поз.5 рис. 4, по оси z, обеспечивается регулируемым упором поз.4, который вставляется в цангу поз.2 и упирается в дно конуса ротора шпинделя поз.1. Гайку закручиваем, фреза прижимается торцом хвостовика к упору – нет зазоров, нет разброса размеров для четырёх шпинделей.

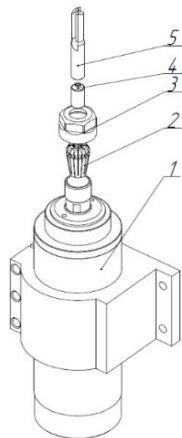


Рис. 4. Шпиндель неподвижный

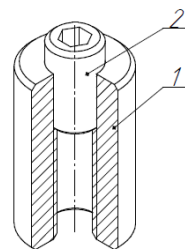


Рис.5. Регулируемый упор в разрезе

На рис. 5 показан регулируемый упор в разрезе, поз.1 упор, поз.2 регулировочный винт. Завинчивая или вывинчивая регулировочный винт - меняем вылет фрезы.

Список литературы:

1. Кухта, М.С. Промышленный дизайн: учебник / М. С. Кухта, В. И. Куманин, М. И. Соколова, М. Г. Гольдшмидт; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 302 с.
2. ГОСТ Р ИСО 6385-2007.Эргономика, применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.
3. ГОСТ Р 57288-2016. Принципы эргономического проектирования машин и оборудования. Часть1.
4. ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.

ФОРМИРУЮЩИЙ МОНИТОР ДЛЯ СЛЕПЫХ

К.А. Раисова, студентка гр.5А8А

А.П. Соколов, к.т.н., доцент

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-606-306*

E-mail: raisova04@mail.ru

Настоящее время характеризуется увеличением разнообразия средств ориентации слепых в пространстве (далее сокращенно средства ОСП). Патентный поиск показал резкое увеличение средств ОСП за последние 20 лет. Следовательно, совершенствование средств ОСП порождает необходимость развития средств обучения слепых.

Исследования ведутся в направлении передачи информации тактильным способом, звуком, а также электрическими импульсами прямо в мозг.

При отсутствии рекламной информации о производстве средств ОСП можно сделать вывод, что наиболее эффективным направлением развития средств ОСП являются устройства, базирующиеся на тактильной передаче информации слепому [1, 2]. Важнейшей задачей в этом направлении является потребность обучения слепого к формированию объемного изображения – от тактильных сигналов к псевдовизуальному образу [3].

Авторы сделали свой вклад в разработку средств ОСП. Запатентована полезная модель – шлем ОСП [4]. Полезная модель относится к техническим средствам, позволяющим ориентироваться в пространстве людям, лишенным зрения. Предложенная модель имеет блок тактильных сигналов, который позволяет расширить представления у слепого о различных предметах и объектах окружающей действительности, а также получать информацию о характере препятствия.

Поскольку воздействующие на человека объекты обладают комплексом свойств различных модальностей, в системах тренировки навыков преобразования тактильных сигналов в картину пространства целесообразно использовать формы для восприятия слепыми, которые могут быть статичные и изменяемые. Геометрические тела, преобразованные через объемный сканер, относятся к статичным формам для восприятия слепыми. Недостатком статичных форм является то, что они затрудняют обратную связь от слепого к компьютеру.

К изменяемым формам для восприятия слепыми относятся средства рельефного типа и полнообъемного типа. На данной стадии разработки средства рельефного типа являются частью устройства – «Формирующий монитор для слепых» (далее ФМ). При введении данного термина следовало расширить понятие «монитор», т.к. слепой не воспринимает визуальную информацию. ФМ изменяет визуальную информацию для восприятия слепыми. ФМ имеет главную часть – форму для восприятия слепыми (рис. 1), которая состоит из ячеек. Каждая ячейка (рис. 2) имеет подвижный участок, управляемый компьютером.

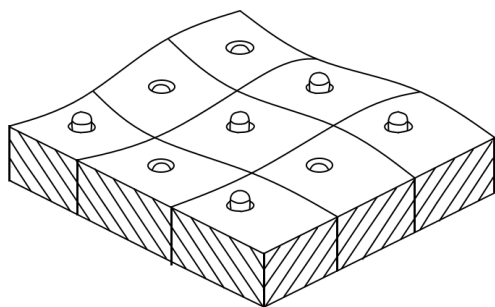


Рис.3. Изменяемая форма рельефного типа

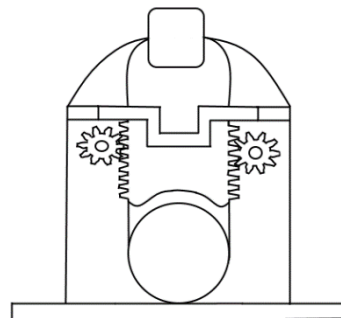


Рис. 4. Вариант осуществления ячейки

Совокупность поверхностей подвижных участков ячеек создают рельефную поверхность, которую воспринимает слепой. Находящиеся в каждой ячейке электромагниты управляются

от компьютера и позволяют формировать сигналы, помогающие при обучении слепого. В каждой ячейке размещен электромагнит, представляющий собой катушку с обмоткой, внутри которой размещен сердечник со стопорным кольцом, причем сердечник выполнен с возможностью осевого возвратно-поступательного перемещения ячеек, обеспечивая тактильное воздействие и дополняя восприятие объемного изображения.

Достоинством данного устройства является быстрое формирование объема за счет рельефной поверхности, которая одновременно обучает слепого. Используемые в ФМ изменяемые формы рельефного типа имеют высокую скорость изменения формы.

В ФМ в роли объемного сканера может выступать – шлем ОСП, содержащий датчики и камеры на корпусе устройства, считывающие информацию об окружающем пространстве, сканируя предметы, и трансформирующим в пространственную картину для слепого. Изменяемые формы для восприятия слепыми хорошо приспособлены для обратной связи от слепого к компьютеру.

Недостатком данного устройства – оно не позволяет формировать полнообъемные объекты, а только рельефные. При разработке устройств, создающих полнообъемные формы для восприятия слепыми, можно воспользоваться информацией об устройстве для формирования объемных фигур [5]. В этом случае шире возможности создания форм для восприятия слепыми, но сложнее осуществить обратную связь с компьютером.

Выводы

1. Наиболее перспективное направление развития средств ОСП – устройства, основанные на тактильной передаче информации слепым. Важнейшим в этом направлении является – формирование навыков преобразования тактильных сигналов в картину пространства.

2. В системах тренировки навыков преобразования тактильных сигналов в картину пространства рационально использовать формы для восприятия слепыми, которые могут быть статичными и изменяемые.

3. Изменяемые формы для восприятия слепыми рельефного типа имеют высокую скорость изменения формы, а также хорошо приспособлены для обратной связи от слепого к компьютеру.

Список литературы:

1. Кухта М.С. Философия процесса визуального восприятия объектов дизайна // Вестник ВЭГУ. – 2013. – № 3 (65). – С. 101-107.
2. Sokolov A.P., Kukhta M.S., Pelevin E.A. Modern technologies of decorative surface treatment // Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014. – 2014. – С. 6986951.
3. Жукова Е.А., Матвеева А.Р. Реальное и виртуальное моделирование в дизайне // Современные технологии концептуального конструирования: труды II Международной конференции (г. Томск, 12 ноября 2018 г.). – 2018. С. 21-25.
4. Патент № 200700. Российская федерация, МПК A61F 9/08 (2006.01), A61H 3/06 (2006.01), A42B1/24 (2006.01) Устройство для формирования объемных фигур / А.П. Соколов, К.А. Раисова, М.С. Кухта; опубл.05.11.2020. Бюл. № 31 .
5. Патент № 111011. Российская федерация, МПК A63H33/26, G09B1/08 (2006.01) Устройство для формирования объемных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербинина, М.С. Кухта; опубл.10.12.2011. Бюл. № 34.

ЭСТЕТИЗАЦИЯ УТИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАСТМАССЫ

Е.П. Роксина, студент гр. 1Е01

А.П. Соколов, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: epr3@tpu.ru

Согласно издательству ТАСС, в 2020 году пластик составил половину мусора в России. Это говорит о том, что проблема утилизации пластиковых отходов до сих пор актуальна. Невозможность разложения полимеров и выделение токсических веществ при их горении – усугубляют проблему. Однако при переработке пластика нужно учитывать не только высоко технологичность процесса, но еще и эстетическую сторону вопроса. Не даром же Ф.М. Достоевский утверждал: «Мир будет спасен красотой».

Цель данной работы – изучить проблему эстетизации утилизированной пластмассы и найти способы ее решения. **Задачи:** проанализировать способы и устройства переработки полимерных материалов; выявить тенденции развития эстетической утилизации пластмасс; предложить пути развития процесса эстетизации переработки пластмасс.

Процесс переработки пластмасс состоит из следующих этапов: сбор, сортировка, подготовка регранулята (дробление, промывка, сушка), агломерация (грануляция).

Существуют различные варианты использования вторичной пластмассы, например, изготовление шумо- и звукоизолирующих материалов для строительства или машиностроения. Однако в данной статье мы рассмотрим тенденции применения переработанного пластика именно в качестве эстетических объектов.

Эко-дизайн – перспективный способ применения утилизированной пластмассы, особенность которого заключается в использовании материалов из переработанного сырья.

Городская инфраструктура - потенциальный путь развития применения вторичного пластика. Также понятие «эко-дизайн» может существовать и в интерьере жилых или офисных помещений. Мебель, посуда, организация пространства – идеи использования утилизированных полимеров, требующие своей реализации.

Еще одно из направлений эко-дизайна – изготовление корпусов, деталей, отделочных материалов для машин и т.д.. Например, амфибийная техника повышенной проходимости канадского производителя ARGO, корпуса, салоны, колеса которой сделаны из переработанного пластика [1].

Изготовление полиэстера – материала, полученного из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ). В 21-ом веке концепция эко-одежды активно продвигается мировыми брендами, ведь такой метод переработки пластика позволяет снизить расход электроэнергии на 30% по сравнению с изготовлением новых синтетических волокон. Однако в России отсутствует реализация идеи «эко-одежды», и одним из перспективных путей развития отечественной легкой промышленности является изготовление одежды и обуви из вторсырья.

Главная функция процесса эстетизации – удовлетворение человеческой потребности в красоте и созидательности. Эко-скульптуры как раз и помогают решить данную задачу [2]. Применение разного рода пластмасс в качестве материалов для уличных арт-объектов или же скульптурных произведений имеет ряд преимуществ:

- отсутствие необходимости в оборудовании для переработки пластикового сырья;
- привлечение внимания общества к проблеме загрязнения окружающей среды и формирование общественного эко-сознания;
- способствование развитию творческого потенциала населения.



Рис. 1. Городская инфраструктура из переработанного пластика



Рис. 2. Вездеход «ARGO»



Рис. 3. Мебель из вторичной пластмассы



Рис. 4. Эко-скульптура

Однако эстетика бывает разной - эстетика искусства, предмета... А души? Ведь уменьшение количества мусора и соблюдение чистоты – это же тоже прекрасно, а, значит, и эстетично [3]. Анализируя процесс переработки пластмасс в целом, выявляется проблема – отсутствие домашнего, бытового рециклинга. Состав агрегата для бытовой переработки пластмассы может быть такой же, как и для промышленной, только все элементы должны быть компактными. В таблице приведено сравнение промышленной и прогнозируемой бытовой переработки пластмасс.

Таблица 1. Сравнение промышленной и бытовой переработки пластмасс

	Достоинства	Недостатки
Промышленная переработка пластика	1. Большой масштаб	1. Однообразие форм; 2. Трудности при сортировке
Бытовая переработка пластика	1. Более однородный материал; 2. Развитие творческого потенциала населения; 3. Более простой способ формирования эко-сознания	1. Отсутствие оборудования для домашней переработки; 2. Проблема хранения тары в домашних условиях

1. Эстетизация утилизированной пластмассы раскрывает множество решений переработки пластика: «эко-дизайн» городской среды и интерьера, эко-одежда, отделочный материал в машиностроении, эко-скульптуры и т.д.

2. Одно из решений проблемы эстетизации – усиление связи между переработкой полимерных материалов и hand-made отрасли (эко-скульптуры). Как следствие, происходит развитие творческого потенциала населения.

3. Перспектива развития легкой промышленности России – отечественное производство переработанного полиэстера и изделий из него, т.к. «эко-одежда» решение одновременно 2х проблем: эстетизации и утилизации пластика.

Список литературы:

1. Кухта М.С., Казьмина О.В., Соколов А.П., Пелевин Е.А. Технологии соединения стекла и металла в объектах дизайна // Дизайн. Теория и практика. – 2014. – № 18. – С. 51-61.
2. Kukhta M., Kazmina O., Sokolov A., Arventyeva N., Soroka A., Sergeyeva M., Homushku O., Zaitseva S. The influence of glass and metal properties on the peculiarities of an item of art's shaping in ethnostyle // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 20, Modern Techniques and Technologies. Сер. "20th International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies, MTT 2014" 2014. – С. 012046.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

3. Талдыкина Ю.С., Соколов А.П. От хенд-мейда к профессиональному дизайну // Современные технологии концептуального конструирования: труды II Международной конференции (г. Томск, 12 ноября 2018 г.). – 2018. С. 26-30.

ВОПРОСЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ СВАРКЕ

Д. А. Цыденешева, студент гр.1Е01

А. П. Соколов, к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел.(3822)-606-306

E-mail: dac26@tpu.ru

Во многих сферах нашей жизнь происходит переход от парадигмы точности к парадигме эстетики, художественная сварка не стала исключением [1, 2, 3]. Отсутствие специализированного оборудования для художественной сварки и ограниченный арсенал средств приводит нас к вопросу позиционирования при сварке.

Цель работы – найти рациональные способы фиксации при сварке, с помощью которых можно добиться максимум художественного эффекта с минимум затрат. Проанализируем способы и устройства позиционирования при сварке и перспективы их развития. Исследуем 4 способа фиксации в сварочных работах такие, как магниты, сварочный стол, «Устройства формирования объема» и «Матрицы».

Начнем с первого устройства – магниты. Для надежного скрепления и облегчения сварочных работ используются специальные магниты. При помощи них элементы композиции можно скрепить под нужным углом и расположить в желаемом направлении. Использование магнитов является технологичным и рациональным способом фиксации, при котором можно сварить качественный и эстетический шов. Но справятся ли магниты со сложными формами скульптуры?

Сварочный стол – рабочее место, которое обеспечивает идеальные условия для труда. Главное достоинство – большая рабочая поверхность, на которой фиксируют крупные детали [4]. На таких столах легко закреплять детали в плоскости и сварить прочные швы (рис.1). Но в парадигме эстетики это более затратный процесс по времени [5].


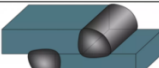


Вид сварочного шва	Плоскость расположения деталей	Рисунок
Стыковой	В 1 плоскости	
Нахлесточный	Параллельно	
Тавровый	Перпендикулярно	
Угловой	Перпендикулярно	

Рис.1. Позиционирование в парадигме точности [4]

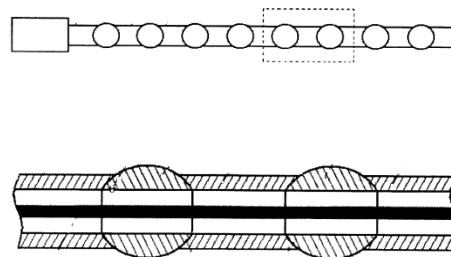


Рис. 2. Схема элемента в устройстве формирования объема

Другое приспособление также сделано при помощи магнитов – «Устройство формирования объема» [6]. Оно сделано из нескольких элементов (рис. 2), каждый из которых оснащен постоянными магнитами. Магниты имеют сферическую форму и нанизаны на тросик попеременно со втулками, имеющими на концах вогнутые сферические поверхности, а тросик имеет механизм натяжения. Вследствие притяжения магнитов нескольких объемных элементов, кривые линии этих элементов образуют каркас трехмерной фигуры. Зная, что форма каждого объемного элемента держится за счет сухого трения между магнитами и втулками, то можно легко менять форму каждого объемного элемента и всей объемной фигуры в целом. Таким образом, предлагаемое устройство выполняет роль пластилина.

Рассмотрим способ под условным названием «Матрица». Его суть заключается в изготовлении каркаса для желаемой скульптуры, нанесения узора и началу сварочных работ прямо на заготовке, что облегчает формирование объема и представление задуманной композиции (рис. 3). Его главный недостаток заключается в том, что для каждой скульптуры нужна своя «Матрица».



Рис. 3. Скульптура, полученная методом позиционирования «Матрица».

Выводы:

1. Сейчас происходит переход от парадигмы точности к парадигме эстетики соответственно меняется оборудование, разработка и проектирование оборудования.
2. Чем больше форма конструкции походит на скульптуру, тем сложнее применяемая оснастка. В этом случае на первое место выходят вопросы скорости позиционирования.
3. При позиционировании деталей в конструкции сложных форм на данный момент рациональны два подхода: «Матрица» и «Устройство формирования объема».
4. Достоинства «Устройства формирования объема»: однозначное соответствие изображения форме модульных блоков и большая свобода в получении пространственных конфигураций.

Список литературы:

4. Кухта М.С., Казьмина О.В., Соколов А.П., Пелевин Е.А. Технологии соединения стекла и металла в объектах дизайна // Дизайн. Теория и практика. – 2014. – № 18. – С. 51-61.
5. Лебедева Т.В., Музыкантова М.Э., Попова А.А. Получение градиента на холодных витражных эмалях // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2019. – № 2. – С. 16-19.
6. Жукова Е.А., Матвеева А.Р. Реальное и виртуальное моделирование в дизайне // Современные технологии концептуального конструирования: труды II Международной конференции (г. Томск, 12 ноября 2018 г.). – 2018. С. 21-25.
7. Kukhta M., Sokolov A., Pelevin E. Welding technology in artistic metal processing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 20, Modern Techniques and Technologies. Сер. "20th International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies, MTT 2014" 2014. – С. 012044.
8. Калинин А.В., Зябнева О.А. Особенности дизайна и технологии изготовления сувенирного изделия из полимерных материалов // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2020. – № 1. – С. 13-17.
9. Патент № 111011. Российская федерация, МПК А63Н33/26, G09В1/08 (2006.01) Устройство для формирования объемных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербинина, М.С. Кухта; опубл.10.12.2011 Бюл. № 34.

СЕКЦИЯ 8. НАЗЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Ю.А. Власов, д.т.н., профессор,
А.В. Зубрицкий, ст. преподаватель,
О.В. Ляпина, ст. преподаватель, А.Н. Ляпин, инженер ОМТС,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,
тел.(3822)-653-468
E-mail: yury2006@yandex.ru*

Методы аналитического контроля, на основе диэлектрической проницаемости, главным образом применяются для химико-аналитических целей и решают отраслевые задачи нефтехимии. Несмотря на то, что основы диэлектрической проницаемости были разработаны более ста лет назад, методы измерения сегодня не отличаются простотой и не находят широкого применения в машиностроении или на транспорте.

С развитием экспериментальной физики и новых технологий появились возможности использования электронных приборов для определения диэлектрической проницаемости [1, 2]. И все же методам физико-химического контроля по величине диэлектрической проницаемости не уделяется еще должного внимания, и данные способы контроля в большей степени по сей день остаются сугубо отраслевыми для химической и нефтегазовой промышленности [3].

Работающее масло, как носитель информации о свойствах и состояниях машины, является неотъемлемой ее частью, и одновременно является многокомпонентным нефтепродуктом. Нефть представляет собой сложную углеводородную смесь, которая содержит огромное число компонентов. Так как нефть является сырьем для изготовления товарных нефтепродуктов, то исследование нефти осуществляется по единой унифицированной программе [4], что необходимо для получения сопоставимых результатов.

Методы исследования нефти делят на две группы:

- геохимические исследования, для паспортизации месторождения, отыскания закономерностей в распределении нефти по свойствам и составу, установления генетических связей между нефтью и осадочными породами и др.;
- промышленные исследования, для разработки и совершенствования технологии подготовки, транспортировки и переработки нефти.

Геохимические исследования, предусматривающие определение группового состава нефти, позволяют определить строение углеводорода и конечный нефтепродукт отнести к парафиновым, нафтеновым или ароматическим углеводородам. И поскольку свойства нефтепродуктов зависят от типа и строения, содержащихся в них углерода и водорода, необходимо учитывать сочетание атомарного состава.

Алкановые углеводороды (парафины) содержат в жидком веществе от 5 до 15 атомов углерода. Они отличаются высокой химической стабильностью, и являются желательным компонентом при производстве летних дизельных топлив и смазочных материалов.

Нафтеновые углеводороды (цикланы) представляют собой циклические насыщенные углеводороды, в которых смежные атомы углерода, соединяясь друг с другом одной валентной связью, образуют замкнутую структуру. Являясь более стойкими к детонации, нафтеновые углеводороды являются желательными компонентами в топливах для бензиновых двигателей и зимних дизельных топлив, а наличие длинных боковых цепей улучшает вязкостно-температурные свойства в масляных фракциях.

Ароматические углеводороды (арены) содержат бензольное кольцо с одной или несколькими боковыми парафиновыми цепями. Арены являются желательным компонентом бензинов, т.к. имеют высокую термическую устойчивость, а низкая теплота сгорания и высокая агрессивность к резинотехническим изделиям, делает их малоприспособными для

изготовления смазочных масел.

Смазочные масла состоят из химически чистой основы базовых масел и присадок (3–8 %, реже до 20 % (масс.)). Состав базовых масел зависит от группового состава нефти, методов и степени очистки и способа (чаще всего вакуумной) перегонки мазута.

При производстве моторных масел применяют комплекты функциональных присадок: моющие (3–15% (масс.)), диспергирующие (1–2% (масс.)), антиокислительные и противоизносные (до 20% (масс.)), антикоррозионные (до 1% (масс.)), вязкостные (20–30% (масс.)), депрессорные, антипенные и защитные. Сегодня известно более сотни присадок, повышающих смазочную способность, устойчивость масла к окислению, одновременно снижающих зависимость вязкости от температуры застывания, коррозию металлических поверхностей, отложение нагаров и т.д. [5].

По химическому составу присадки к смазочным маслам представляют производные различных органических соединений – алкилфенолов, аминов, дитиофосфорных, дитиокарбаминовых, салициловых кислот, солей металлов и других веществ. Присадки состоят из молекул одной или нескольких полярных, или неполярных групп. Полярные группы способствуют адсорбции молекул поверхностно-активных присадок на границе между маслом и металлом. Неполярные группы, алкильные радикалы, нафтеновые или ароматические кольца и их сочетания, определяют растворимость присадок в масле.

От взаимодействия присадок с полярными компонентами масла зависит восприимчивость масел к присадкам, и взаимное ослабление или усиление функционального действия присадок при совместном применении с маслом. Ослабление или усиление действия смеси двух и более присадок зависит от их взаимодействия друг с другом. Например, взаимодействие детергентной присадки с антиокислителем приводит к усилению их функциональных возможностей, но эффект теряется при действии данной присадки с противоизносным дитиофосфатом цинка [5].

Влияние на эффективность действия присадок оказывает и масляная основа, и условия эксплуатации. Например, при наличии внешних факторов (температура, влажность и др.) на взаимодействие молекул присадок влияют окисление масла и вода, которая может вызвать гидролиз присадок.

Следует сделать вывод, что разработка новых измерительных методов контроля нефтепродуктов будет носить сложный характер, которые должны учитывать химические свойства и физические состояния исследуемых компонентов. Для этого необходимо понимание сути процессов, протекающих на молекулярном уровне в диэлектриках, к группе которых следует отнести применяемые на транспорте нефтепродукты.

Рассмотренный подход к оценке диэлектрических свойств нефтепродуктов, помещенных в электрическое поле, акцентирует рассматривать их как с позиции законов электротехники [1, 2, 3], так и с позиций молекулярной физики и физической химии [6]. Выявленные законы следует закладывать в измерительные процессы разрабатываемых приборов и устройств для оценки качества нефтепродуктов и для диагностики машин.

Список литературы:

1. Магнитные и диэлектрические приборы / Под ред. Г.В. Катца. Часть вторая. – М.–Л.: Энергия, 1964. – 200 с.
2. Эме. Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 224 с.
3. Чельцов А.В. Измерительные устройства для контроля качества нефтепродуктов. – Л.: Химия, 1981. – 264 с.
4. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям: Учеб. пособие для вузов / И.Н. Дияров, И.Ю. Батуев, А.С. Садыков, Н.Л. Солодова. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
5. Балабанов В.И. Все о присадках и добавках для автомобилиста / В.И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2008. – 240 с.
6. Сканави Г.И. Физика диэлектриков. Область слабых полей. – М.–Л.: ГТТИ, 1949. – 500 с.

САМОДОСТАТОЧНОСТЬ, КАК КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ МАШИН

*Ю.А. Власов, д.т.н., проф.,
Р.А. Кобылянский, магистрант гр. М23.20/1,
А.Н. Ляпин, инженер ОМТС, О.В. Ляпина, ст. преподаватель,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,
тел.(3822)-653-468
E-mail: yury2006@yandex.ru*

Для диагностирования агрегатов транспортно-технологических машин целесообразно использовать универсальные методы и средства контроля. Если силовые агрегаты технологически оборудованы замкнутыми системами смазки, то смазочное масло данных агрегатов может выступать интегральным показателем технического состояния диагностируемых машин. Однако существующие физико-химические методы контроля параметров смазочного масла достаточно трудоемкие, требуют специального лабораторного оборудования, подготовленного помещения и обученного персонала. Следовательно, необходимо изыскивать такое диагностическое оборудование, единичные образцы которого обладали бы комплексными свойствам оценки технического состояния, основанными на принципах экспресс-методов контроля параметров работающего масла.

Экспресс-методы должны включать следующие технические и технологические показатели: достоверность получаемых результатов, короткое время проведения анализа, портативность и надежность применяемого оборудования, транспортабельность в рабочем состоянии, простота обращения и наладки, низкая стоимость в эксплуатации.

Основным показателем экспресс-метода является самодостаточность [1, 2]. Под этим свойством следует понимать возможность решения всех основных вопросов по исследованию свойств работающего масла посредством методических и инструментальных составляющих. Такой комплект, как единое целое, должен представлять средства, которые способны обеспечивать проведение анализа масел в стационарных и полевых условиях, и позволяющий получать информацию, необходимую для адекватного оперативного управления техническим состоянием агрегатов машин в условиях эксплуатации.

Методическая составляющая экспресс-диагностирования должна обеспечить оценку свойств смазочного масла достаточным комплексом показателей для однозначного распознавания работоспособности масла, исправности систем силовых агрегатов, ранней стадии повышенного износа.

Комплексная оценка средств диагностирования должна обеспечивать такие результаты, которые не являлись бы сомнительными, не позволяли бы неадекватно воспринимать результаты выполненных анализов. Отсутствие оперативного контроля и управления техническим состоянием агрегатов во многом зависит не только от недостоверности полученных результатов, но и от несовершенства приборов контроля, работающих по принципу «проверяю что могу». Многие экспресс-методы часто не обеспечивают однозначную оценку свойств работающего масла.

В работе [1] предложена частная гипотеза о возможности получения однозначной оценке свойств масла путем выбора основного экспресс-метода, позволяющего получать большую часть информации о конкретном показателе. Дублирующий экспресс-метод, базирующийся на ином принципе работы, чем основной метод должен обеспечить недостающую информацию. При этом полагается, что экспресс-метод производится на одном и тоже комплексе и комплексные методы должны обеспечивать оценку двух-трех показателей при проведении одного анализа.

Не редко, в полевых условиях или в условиях производства с ограниченными ресурсами средств диагностирования, комплексные методы оценки свойств и состояний смазочного материала могут не обеспечить достаточной и достоверной оценкой состояния исследуемого объекта. Поэтому нами предлагается взять за основу метод самодостаточности [2], позволяющий полученной диагностической информацией перекрывать области контроля при использовании не менее двух комплексов контроля. Причем каждый комплекс экспресс-диагностики, определяющий как минимум два состояния работающего масла, должны при анализе одной и тоже пробы масла подтвердить (проверить) наличие тех или иных регистрируемых отклонений. В общем виде это можно сформулировать как взаимно пересекающиеся области, отражающие общие приобретенные свойства масла в процессе эксплуатации.

Такой принцип самодостаточности целесообразно осуществлять на приборах экспресс-диагностирования по результатам качественных и количественных оценок. Качественная оценка занимает в несколько раз меньше времени, чем количественная. Поэтому при разработке новых методов контроля при учете принципа взаимно пересекающихся областей определения браковочных показателей, целесообразно выравнивать процессы по трудоемкости выполнения анализа и, соответственно, по времени.

Инструментальная составляющая должна предусматривать портативность комплекта экспресс-диагностики, его долговечность и эргономичность.

Портативность комплекта позволит уменьшить его габаритные размеры и массу. Если при определении разных свойств масла грамотно подобрать группы экспресс-методов оценки, то появляется возможность реализации комплекта в универсальный прибор экспресс-диагностики по параметрам работающего масла. Физико-химические методы, являющиеся критерием для оценки свойств масла, положены в принцип создания портативных универсальных средств экспресс-диагностирования.

Долговечность средств диагностирования обеспечивается отказом от использования стеклянной посуды и приборов. Наличие в комплекте такой посуды резко увеличивает габариты, массу, а также возможность многократного выполнения анализов, если для этого дополнительно используются химические реактивы.

Эргономичность средств контроля определяется качеством разработки двух составляющих – методической и инструментальной. Эргономичность обеспечивается удобством выполнения анализа за счет физических или антропометрических свойств соответствия используемого оборудования и человека, выполняющего на нем работу, при этом физиологические свойства оборудования должны учесть все особенности промышленной санитарии, техники безопасности и экологической безопасности.

По мнению [1], третьим принципом самодостаточности является потребительская составляющая, выраженная через отказ от методов контроля с использованием реагентов.

На наш взгляд потребительскую составляющую можно дополнить эстетической привлекательностью прибора, что не вызовет психологического отторжения у человека, и в последствии не скажется на производительности процесса диагностирования.

Реализация портативных средств экспресс-диагностирования на базе комплексного показателя самодостаточности позволит адекватно оперативно управлять техническим состоянием машин в любых условиях эксплуатации.

Список литературы:

1. Гурьянов, Ю.А. Концепция разработки портативных средств экспресс-диагностики двигателя по состоянию моторного масла //Химия и технология топлив и масел. 2007.– № 6.
2. Самодостаточность экспресс-методов диагностики агрегатов машин / О.В. Пономарева, А.В. Лехман, А.В. Ляпин, Ю.А. Власов // Материалы 55-й научно-технической конференции студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – С. 261–264.

ДИАГНОСТИКА ГИДРОСИСТЕМ МАШИН ПО ПАРАМЕТРАМ РАБОТАЮЩЕГО МАСЛА

*Ю.А. Власов, д.т.н., проф.,
А.Н. Ляпин, инженер ОМТС, О.В. Ляпина, ст. преподаватель,
А.В. Зубрицкий, ст. преподаватель,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,
тел.(3822)-653-468
E-mail: yury2006@yandex.ru*

Известно, что изменения, происходящие в процессе старения масла, достаточно сложны, поэтому только исследования в условиях эксплуатации позволяют достаточно достоверно определить влияние качества гидравлического масла на эксплуатационную надежность гидравлических систем землеройных и транспортных машин.

Срок службы гидравлического масла установлен заводом изготовителем. Однако в условиях эксплуатации качество масла может ухудшиться из-за технического состояния агрегатов гидросистемы, либо замена производится по графику не всегда соответствующему нормативной наработке.

В процессе исследований гидравлических систем землеройных и транспортных машин в условиях эксплуатации на угольном разрезе ОАО «Разрез Шестаки» ЗАО «Стройсервис» были рассчитаны браковочные показатели работающего масла, при достижении которых машину необходимо ставить на техническое обслуживание.

Представленные результаты расчета базировались на выборке 84 проб рабочего масла из гидравлического бака от машин с различным техническим состоянием, 22 пробы от бульдозеров марки Т-25, 65 проб от автосамосвалов БелАЗ-7548, -7555. Результаты расчетов номинальных (МО) и предельно допустимых значений (Сд) диагностических параметров, выполненные в соответствии с работой [1], приведены в таблице.

Таблица. Числовые и браковочные характеристики гидросистем землеройных и транспортных машин в ОАО «Разрез Шестаки»

Браковочный показатель износа и загрязнения	Числовые характеристики	По парку машин (все)	СДМ (объединены бульдозеры, погрузчики)	БелАЗ (объединены)	БелАЗ-7548	БелАЗ-7555
Fe	M =	13	15	17	15	4
	МО =	41	32	45	43	45
	Сд =	84	85	87	89	70
Al	M =	24	22	31	27	23
	МО =	60	48	64	48	64
	Сд =	130	123	135	108	115
Cu	M =	42	16	46	16	50
	МО =	81	39	86	39	117
	Сд =	225	108	226	89	294
Si	M =	21	14	23	15	17
	МО =	47	31	52	41	44
	Сд =	126	93	132	93	115

M = модальное значение (мода) или номинальный показатель
МО = математическое ожидание

Сд = браковочный показатель

Основными причинами потери эксплуатационных свойств гидравлического масла являются загрязнение его водой и механическими примесями связанное, за счет не герметичности соединений, с неисправностями в работе отдельных узлов гидравлической системы или условиями эксплуатации.

Наиболее информативным показателем является прирост концентрации продуктов износа в работающем гидравлическом масле. Статистические зависимости, полученные в результате эксплуатационных исследований, представляют собой количественные значения, характеризующие процесс изнашивания деталей гидросистемы.

В соответствии с работой [2] достоверность постановки диагноза технического состояния гидросистем зависит от ошибок 1-го и 2-го рода. Ошибки 1-го рода задаются лабораторным оборудованием и, поэтому, являются несущественными. Ошибки 2-го рода обусловлены качеством отбора пробы масла, осадков и, поэтому, являются определяющими. Внедрение диагностики агрегатов гидросистем землеройно-транспортных машин по параметрам работающего масла в ОАО «Разрез Шестаки» показало, что достоверность диагностирования составила в среднем по парку 85%, что соответствует II категории точности, позволяющей использовать результаты исследований при диагностировании агрегатов гидросистем без их разборки.

В результате выполненных исследований было установлено:

- 7,3 % гидравлических систем имеют неудовлетворительное техническое состояние, повлекшее отказ и ремонт транспортного средства;

- в настоящее время не разработаны и не нашли широкого применения методы диагностирования гидравлических систем по параметрам работающего масла с использованием эмиссионного спектрального анализа;

- нет точных сведений о химическом составе материалов, из которого выполнены узлы и детали элементов гидравлических систем;

- нет достаточных отечественных исследований и литературных источников, которые в той или иной мере раскрывали бы вопросы диагностирования гидросистем с использованием ЭСАМ;

- не отработаны методы отбора проб масла, позволяющие определять техническое состояние «конкретного» узла или детали по продуктам износа.

В результате исследования установлено, что основными путями повышения долговечности системы «гидросистема – масло» являются не только диагностирование технического состояния гидросистем, но и прогнозирование остаточного ресурса деталей, а также возможность введения в масло присадок улучшающих и восстанавливающих его качественные свойства, и дающих возможность повторного подконтрольного использования масла.

Следовательно, диагностика гидросистем машин по параметрам работающего масла позволит: производить замену масла по фактическому состоянию; предотвращать неисправности агрегатов системы, связанных с потерей маслом эксплуатационных свойств; обеспечить входной контроль качества свежего масла; оперативно управлять качеством масла в процессе эксплуатации машин.

Список литературы:

1. Соколов А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла: Учебное пособие. / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1991. – 200 с.
2. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей. – М.: Транспорт, 1980. – 188 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Ю.А. Власов, д.т.н., проф.,
Б.Б. Порутчиков, магистрант гр. М23.20/1,
Р.А. Кобылянский, магистрант гр. М23.20/1,
В.Р. Фукс, к.т.н., доц.*
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,
тел.(3822)-653-468
E-mail: yury2006@yandex.ru*

Оценить эффективность нового технологического оборудования, на стадии его приобретения для производственно-технической базы автотранспортного предприятия, бывает сложно, т.к. не всегда существует прямая зависимость между исходными свойствами оборудования и существующими потребностями предприятия, где это оборудование планируется эксплуатировать. Поэтому была поставлена цель проанализировать существующие методы выбора технологического оборудования, обеспечивающего максимальную эффективность при его эксплуатации на предприятии.

В любой образец технологического оборудования, при его производстве, закладывается комплекс потребительских свойств. Следовательно, технологическое оборудование можно рассматривать как систему с множеством взаимных связей, отражающих эти заложенные свойства. Выбор приоритетных свойств должен подчиняться главному требованию – обеспечению эффективности функционирования выбираемого оборудования для производственного процесса [1, 2].

Эксплуатационные потребительские свойств технологического оборудования представляются в виде номенклатуры технических характеристик [3, 4], характеризующих технологические возможности данного изделия. Например, тип или модель изделия, его конструктивное и кинематическое исполнение, производительность, характеристики привода, габаритные размеры, масса изделия и др.

Выбор оптимального образца технологического оборудования, из ряда альтернативных образцов, производится двумя способами: количественно, через сравнение числовых показателей, характеризующих различные технические показатели, и качественно, по внешним признакам и их отличительным особенностям.

Если техническая или потребительская характеристика одного из ряда свойств не может быть представлена в виде числового значения, то оценку такого свойства осуществляют через понятия «лучше», «хуже» или «на уровне». И получить однозначное мотивированное заключение о выборе оборудования по совокупности свойств технической характеристики сочетанием качественных и количественных оценок в таком случае не представляется возможным. Для оптимизации выбора технологического оборудования, качественные показатели следует перевести в количественные, используя специальные математические методы исследования операций.

В настоящее время существующая практика выбора технологического оборудования предлагает автотранспортным предприятиям использовать следующие критерии [1, 3]: по одному доминирующему для данного предприятия техническому или потребительскому параметру; по совокупности технических параметров оборудования; по средневзвешенному показателю качества оборудования.

Однако перечисленные выше критерии, которые обеспечивают оценку свойств технологического оборудования, нередко показывают несостоятельность общепринятых методов выбора.

Критерий одного доминирующего параметра технологического оборудования выбирается из группы технологически равнозначных образцов, приемлемых для

производственного процесса предприятия. Например, нередко вопреки техническим параметрам низкая стоимость технологического оборудования является доминирующим потребительским свойством выбора при закупках в условиях рыночной экономики. Но, неверно выбранный доминирующий критерий может изменить приоритет выбора оборудования, и выбранный образец не в полной мере будет соответствовать своему функциональному назначению в условиях производственной инфраструктуры. Как правило более дорогое оборудование характеризуется лучшими его функциональными возможностями.

Критерий совокупности технических параметров оборудования применяется тогда, когда все параметры технологического оборудования одинаково влияют на его выбор. Оценку критерия выбора в таком случае производят по отношению совокупностей технических параметров для каждой оцениваемой модели к таким же значениям аналогичной модели, принятой за эталон. В данном случае строятся циклограммы в осях их технических параметров, а выбор лучшего образца технологического оборудования осуществляется сравнением площадей циклограмм, ориентируясь на большую.

Однако если технические параметры оборудования, с уменьшением их числового значения по осям циклограммы, не ухудшают, а улучшают их функциональные возможности, то выбор образца технологического оборудования окажется неверным.

Критерии средневзвешенных показателей качества технологического оборудования целесообразнее использовать в тех случаях, когда единичные технические параметры оборудования по-разному влияют на технический уровень. Значение средневзвешенного показателя качества определяется суммированием произведений единичных безразмерных показателей технического состояния на их коэффициент весомости, и выбор осуществляется по максимальному показателю средневзвешенного значения.

Однако если выбор осуществлять из ряда равнозначного оборудования, а модель, которая имеет принципиальные отличия, по формальному признаку поставить на последнее место то, метод выбора оборудования по критериям средневзвешенного показателя не даст обоснованного заключения для выбора лучшего оборудования.

Для практического преодоления выше названных трудностей при выборе технологического оборудования, на наш взгляд, следует применить критерий относительной важности показателей качества, в основу которого положен известный социологический математический подход, который базируется на методе анализа иерархий (МАИ) [5].

Оценка максимального сравнения альтернатив осуществляется методом парного сравнения элементов технических и потребительских характеристик и выявлением коэффициента относительной важности одних элементов по отношению к другим [1, 2].

МАИ позволяет по элементам парного сравнения не только выбрать лучший образец технологического оборудования, но и оценить его технологическую и потребительскую эффективность. МАИ является удобным универсальным приложением системного анализа, которые эффективно обеспечивает выбор любого образца технологического оборудования из совокупности альтернативного оборудования.

Список литературы:

1. Оптимизация выбора и эффективность использования диагностического оборудования / Ю.А. Власов, А.Н. Ляпин // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2012. – №2. – С. 12–18.
2. Власов Ю.А. Оптимизация выбора диагностического оборудования // Автотранспортное предприятие. – 2012. - №8. – С. 31–33.
3. Першин В.А. Типаж и техническая эксплуатация оборудования предприятий автосервиса / В.А. Першин [и др.]. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 413 с.
4. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования / Ю.А. Власов, Н.Т. Тищенко. – Томск: Изд-во Томск. архит.-строит. ун-та. 2004. – 277 с.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

5. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: «Радио и связь», 1993. – 320 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕСУРСА СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ ПО УСЛОВИЮ ПРЕДЕЛЬНОГО ИЗНОСА

*А.В. Зайцев, старший преподаватель
Сибирский государственный университет путей сообщения 630049,
Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191
E-mail: zaitsev.zaw@yandex.ru*

Условия работы подъемно-транспортных машин при соответствующих переменных режимах нагружения выходных звеньев механизмов приводят к изменению окружной скорости и нагрузок, а также к увеличению контактных напряжений, следствием чего является разрушение поверхности зубьев и износ [1].

В таблице 1 представлен анализ методов оценки ресурса зубчатых передач, а также результаты экспериментальных исследований, проведенные исследователями в области передач зацеплением.

Таблица 1 Анализ методов оценки ресурса зубчатых передач [2, 3, 4, 5]

Номер источника	Название зубчатой передачи и элементов	Критерий оценки	Результат
[2]	Зубчатая прямозубая цилиндрическая передача	Пределный допустимый износ [h]	Ресурс зубчатой передачи с использованием типичных значений ее параметров и условий нагружения составил 3453 часа. При выборе более износостойких материалов зубьев шестерни и колеса с интенсивностью изнашивания 10^{-11} . Ресурс составил 3453000 часа.
[3]	Зубчатая цилиндрическая косозубая передача	Пределный допустимый износ [h]	При экспериментально установленном значении интенсивности изнашивания зубьев шестерни и колеса $J_{h1} = J_{h2} = 4,9 \cdot 10^{-8}$ ресурс работы в соответствии с расчетной формулой составил 1375 часов.
[4]	Передача винт-гайка скольжения	Пределный допустимый износ [h]	Ресурс работы передачи равен: при $\sigma_H=1$ МПа $N=106376$ рабочих ходов; при $\sigma_H=5$ МПа $N=5000$ рабочих ходов; при $\sigma_H=10$ МПа $N=1341$ рабочий ход.
[5]	Коническая ортогональная прямозубая передача	Пределный допустимый износ [h]	При экспериментальном значении интенсивности изнашивания $J_{h1}=J_{h2} = 5,0 \cdot 10^{-8}$. Ресурс работы зубчатой передачи равен 765 часам.

Из таблицы 1 следует, что основным критерием оценки ресурса зубчатых передач является предельно допустимый износ [h], а параметром, особо влияющим при расчете ресурса, является интенсивность изнашивания J_h зубьев шестерни и колеса.

Наряду с червячными передачами в различных областях техники нашли применение спироидные передачи, которые относятся к червячному типу [6]. Они получили широкое распространение в приводах механизмах грузоподъемных машин, работающих как при постоянном режиме нагружения так и при режимах с изменением значений вращающих моментов.

Прогнозируемый ресурс спироидного редуктора с однопарным зацеплением L , часах [7]:

$$L = \frac{[h_2]}{60 \cdot 2,25 \cdot J_{HE} \sqrt{w_{HE} \cdot \eta \cdot (\rho_{red1,2})_R} \cdot \frac{V_{SY2} \cdot n_2}{V_{FY2}}}, \quad (1)$$

где $[h_2]=1,11$ мм.-предельно допустимый износ зубьев спироидного колеса; J_{HE} -экспериментально определенное значение интенсивности изнашивания материала

XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения»

спироидного колеса соответствующая эквивалентному вращающему моменту T_{HE} ; $\eta=1,4 \cdot 10^{-5}$ мм²/Н-упругая постоянная соприкасающихся звеньев; $(\rho_{red12})_R=18$ мм.-приведенный радиус кривизны в расчетной точке контакта зубьев колеса для правого делительного осевого угла профиля витков; $n_2=28$ об/мин-номинальная частота вращения выходного вала; $V_{SY2}=1497$ мм/с-скорость скольжения в расчетных точках профиля зубьев колеса; $V_{FY2}=124$ мм/с-окружная скорость в расчетных точках профиля зубьев колеса.

$$L = \frac{1,11}{60 \cdot 2,25 \cdot 0,85 \cdot 10^{-8} \sqrt{81,23 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 18 \cdot \frac{1497}{124} \cdot 28}} = 20000 \text{ часов}$$

Разработанный алгоритм оценки ресурса спироидной передачи по условию предельного износа зубьев спироидного колеса с учетом эквивалентного вращающего момента позволяет оценивать ресурс с учетом режимов работы механизмов подъемно-транспортных машин.

Список литературы:

1. Анферов В.Н., Зайцев, А.В. К расчету зубчатых и червячных передач при переменных режимах нагружения. // Вестник СГУПС. 2016. №4. С. 40-46.
2. Куксенова Л.И. , Поляков С.А., Алексеева М.С., Рубцов С.В. Повышение ресурса работы зубчатых передач на основе выбора технологий упрочнения рабочих поверхностей зубьев//Вестник научно-технического развития.-2019. №3.-С.24-36.
3. Павлов В.Г., Яговитов В.Д. Ресурс работы цилиндрической косозубой зубчатой передачи по условию предельно допустимого износа / Проблемы машиностроения и надежности машин.-2009.№4. С. 50-55.
4. Павлов В.Г. Ресурс работы передачи винт-гайка скольжением // Проблемы машиностроения и надежности машин.-2004. №5. С 54-59.
5. Павлов В.Г. Расчетная оценка износа, ресурса работы и КПД конической ортогональной прямозубой зубчатой передач/Проблемы машиностроения и надежности машин.-2011. №5. С 44-52.
6. Patent 2954704 USA. Skew-axis gearing / O.E. Saari. published on 04-Oct-1960
7. Анферов В.Н., Ткачук А.П., Зайцев А.В. Расчет ресурса спироидного редуктора в приводе кабелесборочного механизма электропогрузчика // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, № 2. С. 24–28.

КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ИЗНАШИВАНИЯ

*В.Д. Исаенко, к.т.н., с.н.с.,
П.В. Исаенко, к.т.н., доц.,
А.В. Исаенко, к.т.н., доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02*

E-mail: isaenko_pv@mail.ru

Общеизвестно, что технический ресурс двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотранспортных средств (АТС) может существенно отличаться от назначенного производителем в силу корректировки реальными условиями эксплуатации и низкой работоспособностью средств очистки воздуха (СОВ) и масла (СОМ), входящих в единую систему защиты ДВС от абразивного изнашивания (СЗДАИ) [1,2].

Многолетний опыт эксплуатации АТС свидетельствует о сложившейся практике проведения технического обслуживания (ТО) СЗДАИ по одному из трех методов.

В основе первого лежит применение органолептических свойств пользователя. Например, контроль работоспособности СОВ дизелей ведется по сигнализатору запыленности картонного фильтроэлемента (КФЭ), по его осмотру на предмет механических повреждений. КФЭ обдувают воздухом и используют повторно.

Контроль работоспособности СОМ проверяют по количеству отложений в роторе масляной центрифуги, если он имеется, и по легкости вращения от руки. Бумажные фильтроэлементы (ФТОМ) просто меняют на новые, нередко не проверяя их на механические повреждения. Зачастую заправляют дизель нереконмендуемым моторным маслом.

При втором методе выполняют регулярное обслуживание СОВ, топлива и масла по рекомендации завода-изготовителя и Положения о ТО и ТР подвижного состава, допускающего по промывку КФЭ с повторным использованием [3]. Работы выполняются обслуживающим персоналом станций технического обслуживания (СТО) или автотранспортных предприятий (АТП), эксплуатирующих АТС.

Третий метод предусматривает контроль работоспособности СЗДАИ в объеме второго метода с привлечением специалистов-химмотологов, оценивающих состояние работающего моторного масла по физико-химическим параметрам и результату спектрального анализа на предмет изнашивания деталей дизеля с построением математических моделей прогнозирования остаточного ресурса.

С поврежденными фильтрами в ДВС поступает воздух с атмосферно-дорожной пылью, основным компонентом которой является кремний. Пройдя через цилиндропоршневую группу, кремний измельчается кольцами и циркулирует по системе смазки, не задерживаясь на фильтрах. В результате – повышенный абразивный износ.

В табл. 1 представлены основные неисправности СОВ дизелей в эксплуатации.

Таблица 1. Характерные неисправности системы очистки воздуха дизелей КамАЗ

Виды неисправностей	Объем выборки				Наработка на отказ, км /отк	Интенсивность (параметр потока) отказов, отк /10 ³ км
	в эксплуатации		новые			
	кол-во	%	кол-во	%		
Нарушение герметичности воздушного тракта	84	33,5	18	12,0	2286	24,4
Сквозные отверстия в фильтрующей шторе	45	17,9	–	–	1890	25,31
Тонкий картон	–	–	23	15,3	–	–
Некачественное склеивание крышки со шторой	10	4,0	12	8,0	–	0,78
Истлевание шторы	36	14,3	–	–	3481	11,2
Деформация КФЭ	12	4,8	–	–	10740	1,5
Слабое крепление стяжных хомутов	6	2,4	–	–	20400	0,29
Всего проверено, шт.	251	100	150	100		
С неисправностью, шт.	193		53			
Вероятность отказа, %		77		35,5		

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

Неисправности системы очистки масла также носят объективную и субъективную причину, о чем свидетельствуют следующие примеры. Из проверенных 55 новых фильтроэлементов на материальном складе АТП 12 (22%) оказались со слабо прикрепленными крышками, на отрыв которых потребовалось усилие в 50–100 Н. А из 114 извлеченных из ФТОМ во время проведения плановых ТО 28 (25%) фильтроэлементов оказались с оторванными обеими крышками, 18 (16%) – с одной, а на отрыв 24 (21%) крышек потребовалось не более 50 Н. Результаты расписаны в табл. 2.

Таблица 2. Оценка состояния масляных центрифуг

Неисправность центрифуги	Выборка		Наработка на отказ, км / отк.	Интенсивность (параметр потока) отказов, отк / 10 ³ км
	кол-во	%		
Ротор переполнен отложениями	54	13	–	–
Погнута ось	21	5	20320	1,6
Смяты грани гайки крепления ротора	77	19,2	15020	7,8
Отсутствует кольцо подшипника качения	14	3,5	18730	1,3
Неправильно установлен колпак ротора	67	16,7	9470	10,5
Прослаблена посадка верхнего подшипника скольжения	4	1,1	37860	0,16
Неправильно установлен подшипник качения	29	7,2	7300	6,02
Износ подшипников скольжения	21	6,0	25250	1,95
Всего:				
проверено	400	100		
с неисправностями	287			
Вероятность отказа		71,6		

Для оценки эффективности описанных методов контроля СЗДАИ были приняты концентрации элементов Si и Al, как индикаторов загрязнения СОМ, инициирующих абразивный износ, и элементов Fe, Cr, Sn, Cu, Pb – как индикаторов износа, содержащихся в пробах моторных масел, отбираемых на пробегах между ТО-2.

Исследования выполнены в одном из предприятий г. Томска на автомобилях КамАЗ с дизелями Евро-0. Собранный статистический материал обобщен с помощью известных методов теории вероятности.

Табл. 3 содержит сведения о математическом ожидании продуктов износа и загрязнения моторного масла в зависимости от метода ТО СЗДАИ.

Таблица 3. Средние значения концентрации химических элементов в моторном масле дизелей в процессе эксплуатации

Метод контроля	Химический элемент, ×10 ⁻³ , %									
	Fe	Cr	Al	Si	Sn	Cu	Pb	Ba	Ca	
I	15,78	0,46	2,8	3,3	0,05	0,75	0,96	236	209	
II	3,43	0,13	1,12	1,31	0,05	0,69	0,34	183	190	
III	1,10	0,07	0,59	0,85	0,03	0,35	0,15	196	200	
Снижение, раз	II/I	4,6	3,5	2,5	2,5	1,0	1,1	2,8	1,3	1,1
	III/I	14,3	6,6	4,7	3,9	1,7	2,1	6,4	1,2	1,04
	III/II	3,1	1,8	1,9	1,5	1,7	2,0	2,3	0,9	0,9

Очевидно, что при равновероятном распределении элементов концентрация Si и Al (продуктов загрязнения) в циркулирующем масле при первом методе контроля в среднем выше, чем во втором в 2,5 раза и выше, чем при третьем – более чем в 4 раза. В связи с чем концентрация Fe и Cr (продуктов износа) при первом методе в среднем выше, чем при втором более чем в 3 раза и выше, чем при третьем более чем в 10 раз.

Таким образом, для поддержания нормальной работоспособности системы защиты дизелей от абразивного изнашивания необходимо проводить регулярную оценку состояния работающего масла, как аккумулятора продуктов загрязнения и износа.

Список литературы:

1. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
2. Исаенко В.Д. Анализ надежности систем защиты автомобильных дизелей от абразивного изнашивания и разработка мер, направленных на ее повышение: дисс... канд. наук. – Томск. – 1983. – 219 с.
3. Исаенко В.Д., Рычков С.Н. Повышение ресурса двигателей карьерных автомоби-лей-самосвалов силами автотранспортного предприятия // Автомобильная промышленность. –

1987. – № 3. – С. 23–24.

К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

В.Д. Исаенко, к.т.н., с.н.с.,

П.В. Исаенко, к.т.н., доц.,

А.В. Исаенко, к.т.н., доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (83822)-65-98-02

E-mail: isaenko_pv@mail.ru

Широко известно, что в последние годы развития перевозочной деятельности в нашей стране на смену типовым автотранспортным предприятиям (АТП) с мощным парком грузовых автомобилей и автобусов приходят мелкие (по выражению одного из предпринимателей) частные автомобильные подворья (ЧАП) с десятком как «старых», так и современных марок машин.

Руководителей ЧАП интересуют прежде всего экономические вопросы эффективного их использования. Один из таких вопросов состоит в рациональном применении моторных масел для дизелей с различными экологическими Евро-классами. В этом суть настоящей статьи.

Работа выполнена в одном из ЧАПов на автосамосвалах КамАЗ с дизелями нулевого Евро-класса (КамАЗ-740.10), прошедшими капитальный ремонт, и КамАЗ-740.62, имеющими третий Евро-класс. Дизели имели примерно равную наработку при выполнении идентичных производственных функций.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) по большому счету представляет собой некую трибологическую систему, в которой физико-химические показатели работающего масла содержат исходную информацию о техническом состоянии ее составляющих в реальном режиме времени с расчетом на перспективу.

Наиболее представительными из разнообразных показателей являются негорючие механические примеси (НП), как индикатор загрязненности системы абразивными частицами высокой твердости и химические элементы изнашивания трущихся поверхностей сопряженных деталей. Степень влияния НП на изнашивание зависит от износостойкости конструктивных материалов, работоспособности средств очистки воздуха (СОВ) и масла (СОМ), качества применяемых масел, уровня технического обслуживания (ТО), условий эксплуатации и ряда других факторов [1–4].

В процессе изучения предмета исследования внешний осмотр технического состояния СОВ и СОМ, а также отбор моторного масла для физико-химического анализа выполнялись при прохождении очередного ТО-2 в течение весеннего, летнего и осеннего периодов. Накопленный объем выборки обрабатывался с помощью методов математической статистики [5]. В частности, в таблице представлены числовые характеристики случайного распределения средневзвешенной величины НП.

Таблица. Параметры случайного распределения негорючих примесей в работающем масле дизелей КамАЗ в зависимости от экологического класса

Числовые характеристики	КамАЗ-740.10		КамАЗ-740.62	
	М-10Г ₂ К	SAE-5W40	М-10Г ₂ К	SAE-5W40
Математическое ожидание, М.О.	0,56	0,38	0,44	0,27
Среднее квадратическое отклонение, S	0,23	0,12	0,16	0,08
Коэффициент вариации, V	0,41	0,31	0,37	0,31
Отклонение по закону 3S	1,24	0,73	0,93	0,51

Очевидно, что при работе дизелей обеих групп на синтетическом масле SAE-5W40 распределение НП близко к нормальному закону и по математическому ожиданию содержание их в этом случае в 1,5–2 раза меньше, чем при работе на минеральном масле. Несколько заметнее эта разница у второй группы дизелей. Среднее квадратическое отклонение НП от математического ожидания в минеральном масле в 2 раза превышает его в синтетическом, как и по закону «трех сигм». На наш взгляд это свидетельствует прежде всего о более качественном внутреннем содержании масла SAE.

При осмотре СОМ первой группы дизелей разница в количестве шламовых отложений на фильтрах составила не более 15% в пользу SAE-5W40. Во второй группе эта разница составила 24–27% (масляная центрифуга в этих дизелях отсутствует). На фильтрах тонкой очистки и центрифугах дизелей КамАЗ-740.10 при работе на минеральном масле М-10Г₂К отложения имели выраженный сажеобразно-гуталиновый характер.

Практический интерес представляют построенные математические модели нелинейных зависимостей содержания износного железа от НП (рисунок).

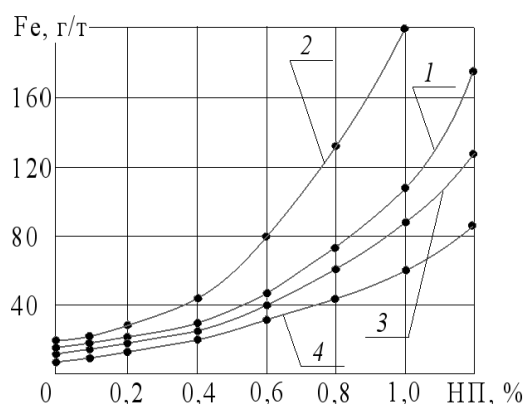


Рисунок. Зависимость износного железа дизелей от содержания негорючих примесей:

$$\begin{aligned} 1 - Fe &= 14,5 + (1 - 9,7НП)^2 / 0,7 - \text{Евро-0 SAE-5W40}; \\ 2 - Fe &= 24,6 + (1 - 15,4НП)^2 / 1,2 - \text{Евро-0 М-10Г}_2\text{К}; \\ 3 - Fe &= 18,3 + (1 - 22,2НП)^2 / 6,4 - \text{Евро-3 М-10Г}_2\text{К}; \\ 4 - Fe &= 12,8 + (1 - 20,4НП)^2 / 7,7 - \text{Евро-3 SAE-5W40} \end{aligned}$$

Из рисунка следует, что наибольшему износу железосодержащих деталей подвержены дизели КамАЗ-740.10 на минеральном масле. Синтетическое (более дорогое) масло способствует снижению их износа в 1,5–1,8 раза при изменении НП от 0,4 до 1%. Наименьший износ наблюдается у дизелей класса Евро-3 при работе на рекомендованном для них масле SAE-5W40. При переходе на минеральное масло их износ увеличивается в 1,3–1,5 раза.

Отсюда напрашивается вывод: во избежание негативного влияния механических примесей на износ следует использовать моторные масла строго рекомендованных производителями двигателестроения.

Список литературы:

1. Исаенко В.Д., Рычков С.Н. Повышение ресурса карьерных автосамосвалов силами автотранспортного предприятия // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 3. – С. 23–24.
2. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Три уровня технического обслуживания системы защиты дизелей от абразивного износа // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 43-8. – С. 36–40.
3. Исаенко П.В., Исаенко А.В. Основы работоспособности технических систем: учебное пособие с грифом УМО. – Томск: ТГАСУ, 2014. – 324 с.

**XIV Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»**

4. Исаенко П.В., Исаенко В.Д., Аметов В.А. Автотранспортная экология: учебное пособие. – Томск: ТГАСУ, 2006. – 239 с.

5. Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В. Основы теории надежности технических систем: учебное пособие. – Томск: ТГАСУ, 2018. – 208 с.

УСТАНОВКА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МАСЕЛ

*Б.Б. Порутчиков, магистрант гр. М23.19з/1,
В.Р. Фукс, к.т.н., доц.,
Ю.А. Власов, д.т.н., профессор
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,
тел.(3822)-654875
E-mail: yury2006@yandex.ru*

Повышение чистоты масел, применяемых при эксплуатации и ремонте, автотракторной и специальной техники можно обеспечить их предварительной и периодической многоступенчатой фильтрационной очисткой.

Существующие системы очистки моторных, промышленных и трансмиссионных масел, как правило, включают один или два последовательно включенных фильтра, обеспечивающих, в основном, задержку частиц механических примесей, которые могут вызвать износ или заклинивание сопряженных пар трения. При этом обычно фильтры имеют номинальную тонкость фильтрации свыше 40 мкм [1, 2].

Опыт эксплуатации показывает, что применяемые системы фильтрации масел недостаточно эффективны по очистке масел от механических примесей и практически не отделяют воду. Необходима дополнительная, более тонкая очистка масла с номинальной тонкостью фильтрации до 10...20 мкм дополнительно включенным фильтром, обладающим высокой эффективностью водоотделения и более высоким качеством очистки от механических примесей.

Решение этой задачи возможно путем разработки фильтрационной установки, предназначенной для обезвоживания масел.

Автономная фильтрационная установка должна отвечать следующим основным требованиям:

- быть передвижной и компактной;
- иметь возможность прямого подключения к маслозаправочным раздаточным средствам, а также параллельно основным фильтрам технологического машиностроительного и ремонтного оборудования;
- быть многоступенчатой, т.е. обязательно иметь ступень грубой очистки масла с его обезвоживанием, а также ступень тонкой очистки от механических примесей. При этом должно обеспечиваться 90...95% отделения свободной воды из масла при номинальной тонкости очистки дисперсных загрязнений не более 10мкм;
- быть автоматизированной, т.е. должна иметь автономное устройство для отвода отделенной воды.

На кафедре «Автомобильного транспорта и электротехники» ТГАСУ разработана и испытана передвижная фильтрационная установка для обезвоживания масел (ФМВ), предназначенная для очистки масел от механических примесей и воды при механизированной заправке автотракторной и специальной техники, а также для периодической очистки масла действующего технологического оборудования. Установка применима также для восстановления отработанных масел при техническом обслуживании и ремонте машин в эксплуатационных и сервисных предприятиях [3, 4].

Установка состоит из фильтра, электродвигателя, насоса, устройства для автоматического выпуска воды, пульта управления. Все элементы смонтированы на раме.

Рама выполнена сварной и снабжена ходовой частью с четырьмя колесами. Для улучшения маневренности два колеса тележки могут поворачиваться относительно

вертикально установленных шкворней. Для удобства применения предусмотрена рукоятка.

Фильтр представляет собой разъемный цилиндрический корпус, каждая половина которого состоит из сварного полукорпуса, содержащего фильтроэлементы. В верхнем полукорпусе смонтированы патронные бумажные фильтроэлементы «Реготмас-463-1-19», предназначенные для тонкой очистки масла [3, 5]. В нижнем полукорпусе для очистки масла от крупных частиц механических загрязнений и отделения воды установлены фильтры-водоотделители. На корпусе фильтра установлены манометры для снятия показаний гидравлического сопротивления на входе в корпус, после первой ступени (водоотделения) и после второй ступени (тонкой очистки). На крышке верхнего полукорпуса установлен кран для спуска воздуха. В нижнюю часть другого полукорпуса вмонтирован патрубок, на котором установлены кран для ручного слива воды из отстойной зоны и устройство для автоматического выпуска воды.

Оценка показателей работы установки производилась путем определения фильтрационных свойств фильтров первой и второй ступени. Фильтрационные характеристики определялись путем сравнения дисперсного состава механических примесей и воды в масле до поступления в установку и после выхода из нее.

Критериями эффективности являлись:

- коэффициент водоотделения;
- номинальная (95 %) тонкость фильтрации;
- ресурс фильтра-водоотделителя.

Наработка фильтроэлементов до перепада давления 400 кПа составляет 600 м³. При обработке проб масла, отобранных в процессе испытаний, исходная обводненность масла находилась в интервале от 0,067 до 1,406 % (масс.). Средняя эффективность водоотделения за период испытаний составила 95,4 % .

Результаты анализа проб масла показывают, что в процессе очистки дисперсный состав загрязнений масла существенно изменяется. После очистки в масле отсутствуют частицы размером более 30 мкм. Одновременно увеличивается процентное содержание частиц менее 20 мкм. Номинальная 95 % тонкость фильтрации установки составляет 10...15 мкм.

Внедрение установки в производство позволит обеспечить повышение чистоты применяемых нефтяных масел при эксплуатации автотракторной и специальной техники, а также станочного парка эксплуатационных и сервисных предприятий.

Список литературы:

1. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. – Томск: изд-во Томск. ун-та. 1988..
2. Жулдыбин Е.Н., Коваленко В.П., Кустова И.А. Очистка светлых нефтепродуктов от механических примесей и свободной воды / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1980. – №1. – С.30.
3. Фукс В.Р. Обезвоживание масел методом фильтрации в сельскохозяйственном производстве. – дисс. к.т.н. – М., 1991 – 190с.
4. Удлер Э.И. и др. Установка для очистки рабочих жидкостей. – Механизация строительства. – 1999. – № 6 – С.10–12.
5. Удлер Э.И., Зуев В.И. Фильтрующие топливно-масляные элементы из бумаги и картона. Томск: изд-во Томск. Ун-та, 1983.
6. Шевченко Н.Н. Моделирование прочесов и методы расчета масляных фильтров машин химической технологии. – дисс. к.т.н. – Томск, 1990. – 217 с.

ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОТКОВЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ

*Л.А. Сиваченко, д-р техн. наук, проф.,
Н.В. Курочкин, ст. преп.*

*Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, 212030, г. Могилев, пр.Мира,43,
тел.+375447928683
E-mail: 228011@mail.ru*

Молотковые аппараты для измельчения широкой гаммы материалов широко используются в промышленности для производства строительных материалов, рудоподготовки, получения твердого топлива, в сельском хозяйстве, переработки отходов и т.д. Они отличаются огромным конструктивным многообразием, обеспечивают высокую степень измельчения, имеют относительно низкую энергоемкость и металлоемкость, но при этом получаемые продукты характеризуются большим разбросом зернового состава, а рабочий процесс плохо организован, что не позволяет в полной мере использовать весь потенциал ударного способа измельчения [1]. Анализируя технологические возможности молотковых измельчителей [2,3], можно выделить новые направления повышения их эффективности и расширения области использования [4,5,6].

Наиболее значимым направлением повышения эффективности предлагается использовать подход основанный на управляемом движении обрабатываемого материала в рабочих камерах с вертикальной или наклонной установкой ротора путем разделения бильной системы на отдельные секции, когда в каждой секции (стадии процесса) осуществляется такой характер движения потока твердых частиц, при котором линейная скорость ударов по ним ударных элементов сохраняется максимально высокой и обеспечивается наличием зон «гашения» окружной скорости этих частиц в виде дополнительных расширительных камер, расположенных с внешней стороны измельчителей. Изложенная концепция реализована в конструкции молотковой, дробилки схема и рабочее оборудование которой представлены на рисунках 1, 2 соответственно.

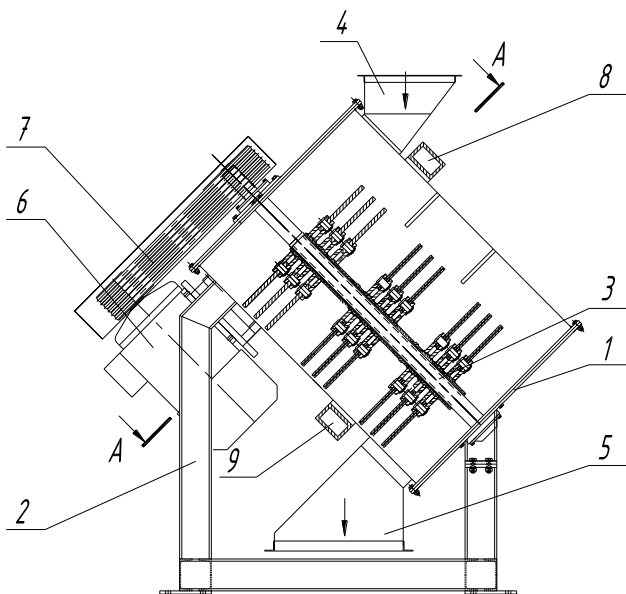


Рис. 1. Молотковая дробилка с наклонным корпусом



Рис. 2. Рабочее оборудование дробилки с наклонным корпусом

Молотковая дробилка с наклонным корпусом включает цилиндрическую камеру 1, установленную на жесткой раме 2, внутри которой находится рабочее оборудование 3,

загрузочный и выгрузочный люки 4,5, привод, состоящий из двигателя 6 и клиноременной передачи 7, в корпус установлены патрубки 8, 9 для подачи в рабочую камеру теплового газового агента и вывода конденсированного пара и влаги [5].

Вторым важным резервом повышения эффективности получения особо мелких классов измельченного продукта можно считать изменение рабочей поверхности ударных элементов. Это связано с тем, что существующие конструкции молотков или бил, особенно при переработке минерального сырья, имеют достаточно большие фронтальные поверхности, а это приводит не только к эффекту релаксации при ударе частиц, но и создает тормозящее действие воздушной среды и даже выдувание мелких частиц из рабочей зоны. Решение этой проблемы возможно путем выполнения рабочей микрорельефной, например, в виде щеточных бил. В этом случае торцы и концы проволоочных элементов выполняют роль микробил, а зазоры между ними способствуют сходу воздушных потоков с рабочих элементов и созданию максимальных напряжений в частицах измельчаемого материала.

Описанные направления повышения эффективности молотковых измельчителей позволяют расширить их технологические возможности и, как следствие, области использования. Перечислим наиболее очевидные из них:

- перевод работы измельчителя из режима дробления в режим помола, в том числе с работой в открытом цикле;
- приготовление высококачественных многокомпонентных смесей
- механоактивация строительных смесей по отдельной или совмещенной технологиям;
- селективная переработка минерального сырья для рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых;
- эффективная переработка волокнистых материалов, резины, пластмассовых отходов и конгломератов.
- совмещение в одной рабочей камере процессов измельчения и сушки

Практическая реализация представленных направлений осуществлена при переработке мела, цементного клинкера, ПЭТ бутылок, фрезерного торфа, глины, зерна для комбикорма, известняка, каменного угля, приготовлении окрашенных формовочных смесей для силикатного кирпича, и других материалов. В целом основные технико-экономические показатели улучшаются в 1,3...1,4 раза.

Список литературы:

1. Бабенко С.А., Порошки: получение, свойства, анализ / С.А. Бабенко, А.П. Ильин, В.В. Коробочкин // Томск, Изд. ТПУ. 2011 -264 с.
2. Сиваченко Л.А., Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.] Минск, Изд-центр БГУ. 2008 -375 с.
3. Сиваченко Л.А., Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.] – Барановичи, БарГУ, 2020 – 359 с.
4. Сиваченко Л.А. Энерготехнологические проблемы дезинтеграторных технологий в промышленности строительных материалов и пути их решения / Л.А. Сиваченко [и др.] // Энергоэффективность.– 2014. - №12. – С. 22-25.
5. Сиваченко Л.А. Молотковые дробилки с наклонным корпусом и основы организации их рабочего процесса / Л.А. Сиваченко, Н.В. Курочкин, // Вибрационные технологии, механика и управляемые машины: Сб. науч. ст.- Курск: ЮЗГУ, 2014.- том 1, с. 113-119.
6. Курочкин Н.В., Сиваченко Л.А., Хустенко А. Патент на изобретение РБ № 22189 «Дробилка ударного действия» по заявке №а20140016 от 03.01.2014, Оpubл. 26.06.2018.

ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ

УДАЛЁННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ RASPBERRY PI

А.В.Бышенко студентка гр 1А01

Томской политехнический университет

М.В.Бердник ученик 011 группы

Лицей при ТПУ

Тел: +79234096671

E-mail: fyrufjghjkloool@gmail.com

Ежегодно проводятся международные инженерные соревнования школьных команд «Кванториада», в которых проекты разделяются по трекам. Команда Детского технопарка «Кванториум» города Томска реализует проект в треке «Платформа для внекорабельной деятельности». Платформа представляет собой устройство, способное обеспечивать решение некоторых задач при выходе космонавтов в открытое космическое пространство. Платформа автономная, перемещается по рельсу с помощью колёс в необходимое место. Движение колёс требует внешнего управления. На рисунках 1 и 2 приведены структурная схема платформы и её 3D-модель.

Структурная схема платформы для ВКД

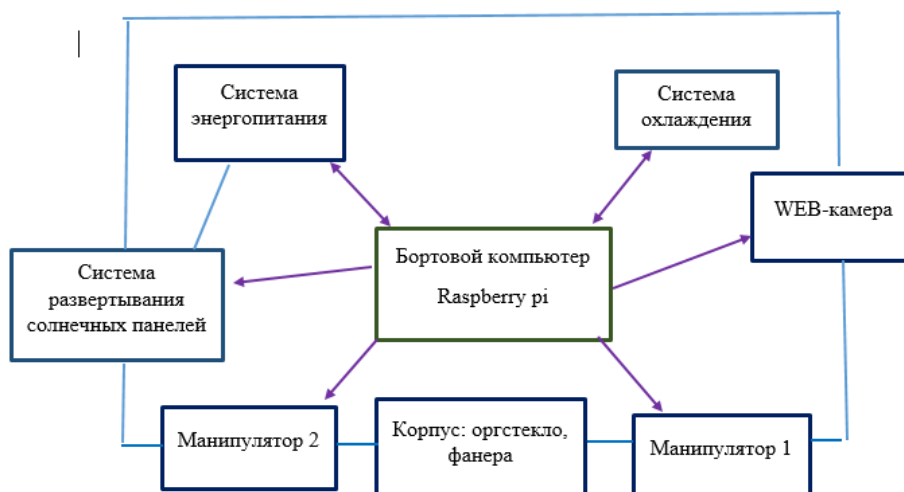


Рис. 1. Структурная схема платформы для внекорабельной деятельности

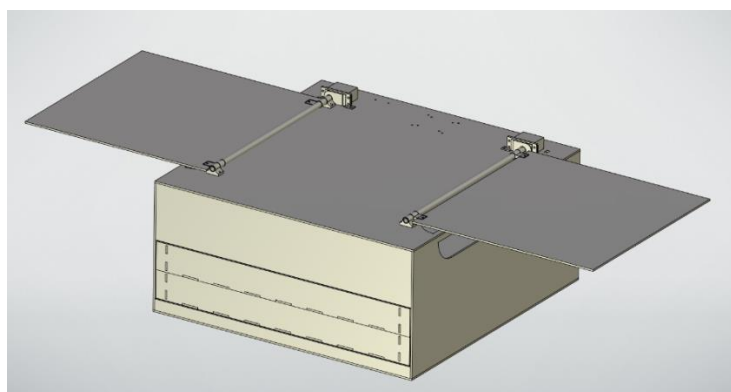


Рис. 2. 3D-модель платформы для внекорабельной деятельности

Основной платой управления платформой является плата raspberry pi. Выбранный способ управления платформой подразумевает использование специализированного сайта, который содержит инструменты для управления платформой. Такой сайт был нами разработан и включает в себя средства считывания и обработки команд и их отправки для обработки на сервер. Данные в клиентской части на сайте конвертируются в специальный формат json и отправляются на сервер на плате raspberry, сервер обрабатывает данные и преобразует их в команды. При выдаче команд ток поступает на определённые gpio контакты, с помощью которых можно управлять моторами постоянного тока.

Понятно, что для обмена данными достаточно просто создать веб-сервер на любом языке, предоставляющих эту возможность. На рисунке 3 приведен пример создания веб-сервера на Node.js.

```
JS server.js > http.createServer() callback
1  var http = require('http')
2
3  http.createServer(function (req, res) {
4    res.writeHead(200, {
5      'Content-Type': 'text/plain',
6      'Access-Control-Allow-Origin': '*'
7    });
8
9    let body = ''
10   req.on('data', chunk => {
11     body += chunk.toString()
12   })
13   req.on('end', () => {
14     console.log(body)
15     res.end('ok')
16   })
17   }).listen(3256, '0.0.0.0')
```

Рис. 3. Пример создания веб-сервера на Node.js

С клиентской части можно подключиться к веб-серверу и отправлять туда данные. На рисунке 4 приведён пример отправки данных на веб-сервер при помощи http на языке javascript.

```
JS client.js > headers > 'Content-Type'
1  fetch('http://localhost:3256', {
2    method: 'POST',
3    headers: {
4      'Content-Type': 'text/plain'
5    },
6    body: JSON.stringify(body)
7  })
```

Рис. 4. Пример отправки данных на веб-сервер через http на javascript

Потом на сервере данные обрабатываются и становятся пригодными для работы, в зависимости от этого можно управлять raspberry pi.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. В. Бывшенко

Томский политехнический университет

Л. Д. Костевич ученик МАОУ СОШ Интеграция

*АНО ДО «Детский технопарк Кванториум», г.Томск, пр.Ленина,26,
тел.89138494016*

E-mail: Kostevichfrwr@gmail.com

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing – от слова аддитивность – прибавляемый) – это послойное наращивание объекта с помощью компьютерных 3D технологий.[1] Популярность применения аддитивных технологий в проектной деятельности обоснована доступностью и простотой, по сравнению с другими промышленными технологиями. При должном желании, данной технологией может воспользоваться даже ребенок, а компетентный в этой области человек может создать проект мировых масштабов. 3D-печать используется в основном для создания деталей сложной формы из разных типов пластика (ABS, PLA, Wattson и др.). Реже используют принтеры печатающие конструкции из металла по принципу послойного наплавления.

Опыт применения технологии 3D-печати в проектах показывает, данная технология предполагает наличие навыков 3D-моделирования в различных CAD-системах. Для эффективного проектирования деталей, изготавливаемых 3D-печатью, в большей степени подходят такие программы как T-Flex CAD (рисунок 1) и Fusion 360 (рисунок 2). Примеры проектов с применением аддитивных технологий представлены двумя работами: платформа для внекорабельной деятельности (ВКД) и микроспутник CubeSat (рисунки 3 и 4).

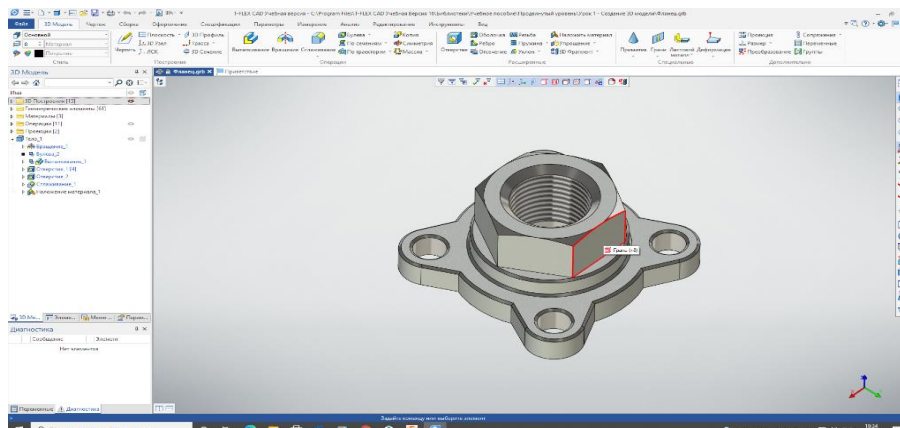


Рисунок 1. Модель в Cad-системе T-Flex

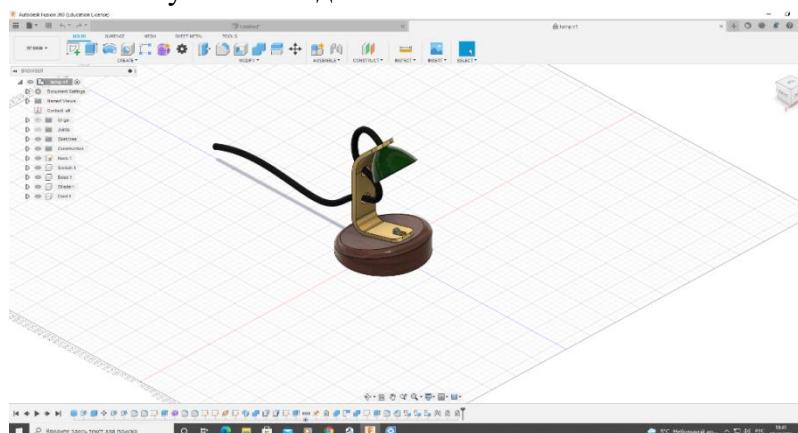


Рисунок 2. Модель в Fusion 360

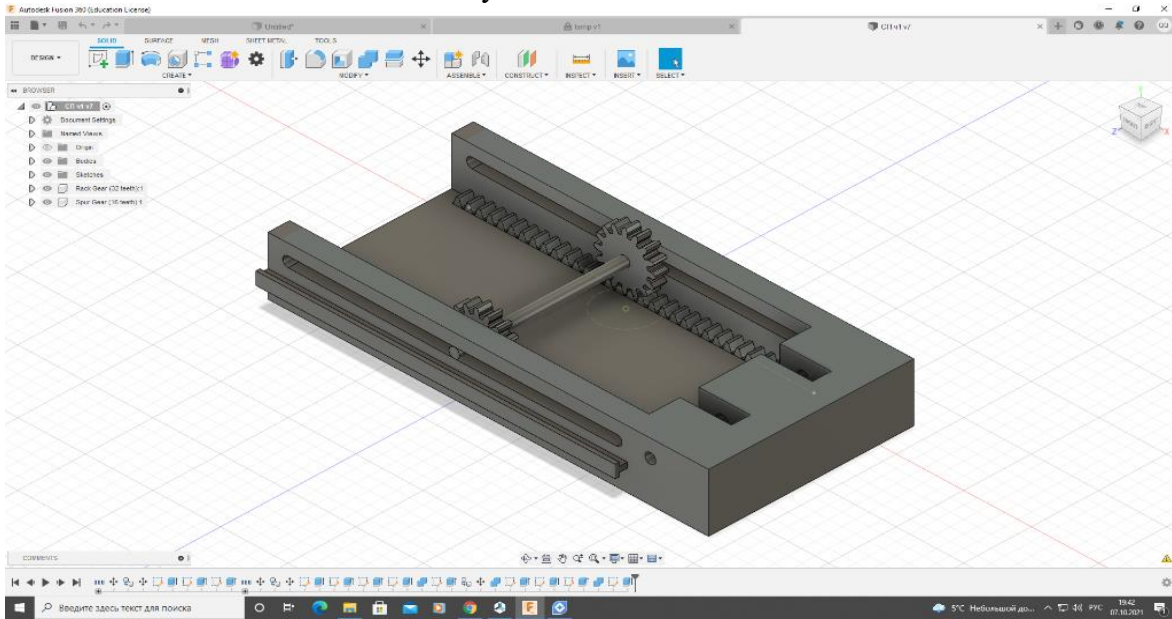


Рисунок 3: Часть системы передвижения платформы для ВКД

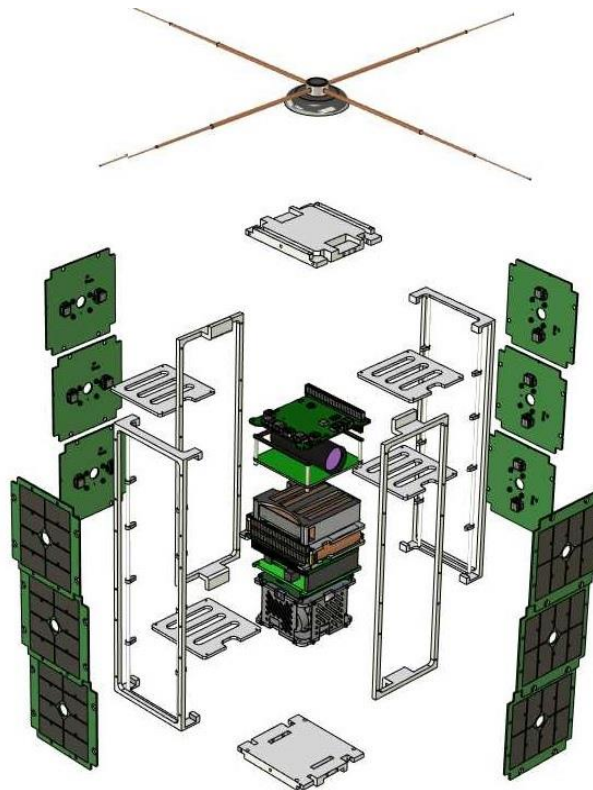


Рисунок 4: Микроспутник CubeSat

Список литературы:

1. Свободная энциклопедия Википедия. Аддитивные технологии.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ СПУТНИКА ФОРМАТА CUBESAT

*А.В. Бывшенко, студентка гр. 1А01
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
В.И. Тресков, ученик 9 класса школы
«Эврика-развитие», г. Томск
тел. +7 952-894-95-94
E-mail: trv2006@mail.ru*

В детском технопарке Кванториум создан макет спутника в формате CubeSat. Одной из важнейших систем такого спутника является система обеспечения теплового режима (рисунок 2), так как каждое электронное устройство работает в определённом диапазоне температур. Конкретно наш спутник работает в диапазоне от -45 до 85 градусов.

В систему обеспечения теплового режима входят: термодатчик для измерения температуры электроники, радиатор для отведения тепла, и элемент Пельтье для охлаждения или нагревания электроники.

При разработке данной системы был использован язык программирования C++, так как нашим бортовым компьютером была плата Arduino UNO. Был написан код, управляющий работой элементов Пельтье в зависимости от показаний термодатчика. Если температура датчика меньше заданной, то элемент Пельтье включается, а если выше заданной – выключается. На рисунке 1 приведен фрагмент кода для управления работой элементов Пельтье.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 5
int z;
int i;
int b;
int Pin1 = 2;
void setup() {
  pinMode(Pin1, OUTPUT);
}
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensor(&oneWire);

void loop() {
  i == 30;
  b == 40;
  Serial.begin(9600);
  sensor.begin();
  sensor.setResolution(12);
  float z;
  sensor.requestTemperatures();
  z = sensor.getTempCByIndex(0);
  Serial.print("Temp C: ");
  Serial.println(z);
  if(z > i)
  {digitalWrite(Pin1, HIGH);
  delay(1000);}
  if(z < b) {
  digitalWrite(Pin1, LOW);
  delay(1000);}
}
```

Рисунок 1. Пример кода управления элементом Пельтье

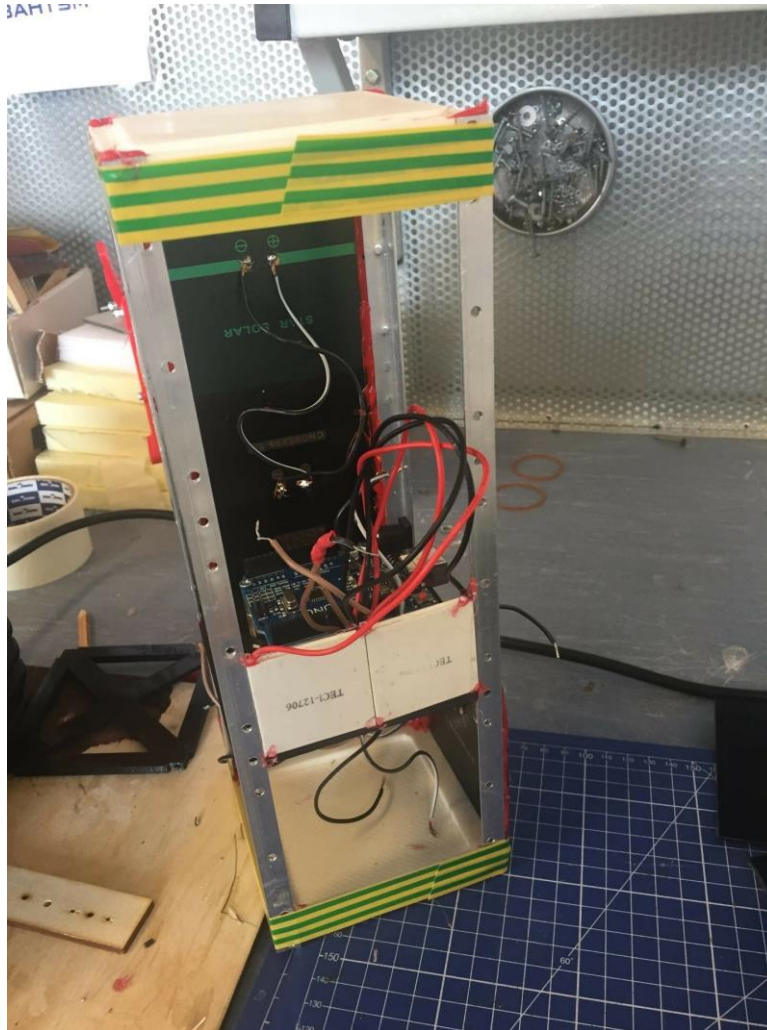


Рисунок 2. Система термостабилизации в макете спутника

Список литературы:

- 1) <https://qna.habr.com/q/16371> - диапазон температур работы процессора ATmega328
- 2) <https://ravesli.com/uroki-cpp/> - программирование на C++
- 3) <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:ds18b20> – пример программирования термодатчика.
- 4) <http://kvantoriumproject.ru/cubesat> - фотография макета спутника.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.В.Бывшенко ТПУ, группа 1А01

Э.А.Штауб, Гимназия 6, 5 класс

В.М.Чащин, МБОУ СОШ 49, 5 класс

тел.89504071646

E-mail: alyona.byvshenko2002@gmail.com

Мы работали над проектом космическая теплица. Космическая теплица - это дополнительный модуль МКС, предназначенный для обеспечения космонавтов растительной пищей во время экспедиций в космосе. Т.к. доставка грузов на орбиту затрачивает большое количество как денежных, так и топливных ресурсов, которые очень ценны, то выгоднее всего выращивать растения прямо в космосе.

Нам нужно было запрограммировать датчики для поддержания комфортных условий для растений внутри теплицы. В нашу теплицу входили: светодиодная лента для освещения растений и фоторезистор для определения уровня освещенности, кулер для опыления растений, помпа для подачи воды и датчик влажности почвы для управления помпой. Всю перечисленную электронику можно увидеть на рисунке 1.

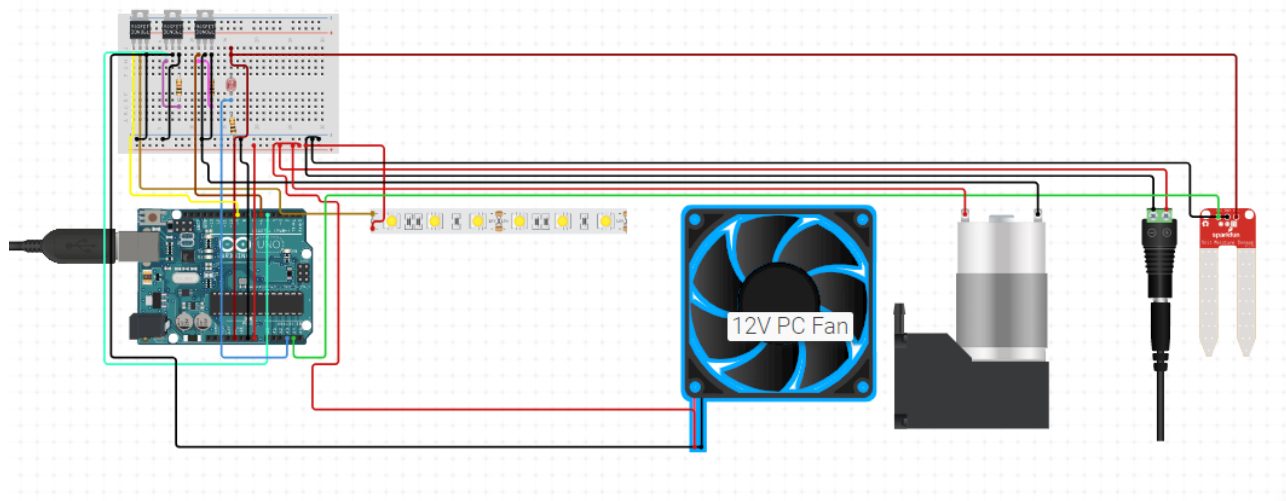


Рис. 1. Принципиальная схема электроники

Также нами был написан код (рисунок 2) для управления всей электроникой на языке C++, потому что была использована плата arduino, как управляющий модуль электроники.

XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения»

```
#include <iarduino_DHT.h> // подключаем библиотеку для работы с датчиком DHT
#define fan 9 // Пин куллера
#define pel 10 // Пин элемента Пельтье
#define PIN_WATER_SENSOR A0
#define PIN_LED 13
#define PIN_PHOTO_SENSOR A1
#define pompa 8
iarduino_DHT sensor(2); // объявляем переменную для работы с датчиком DHT,
//указывая номер цифрового вывода к которому подключён датчик (сейчас 2pin)

int t;
int val;
int analogValue = 0;

void setup(){
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
  pinMode(pel, OUTPUT);
  pinMode(fan, OUTPUT);
  pinMode(PIN_PHOTO_SENSOR, INPUT);
  pinMode(PIN_WATER_SENSOR, INPUT);
  Serial.begin(9600); // открываем последовательный порт на скорости 9600 бод
  delay(1000); // выполняем задержку для перехода датчика в активное состояние
}
void loop(){
  sensor.read();
  analogValue = analogRead(PIN_WATER_SENSOR); // считываем с аналогового вывода
  val = analogRead(PIN_PHOTO_SENSOR);
  t = sensor.tem;
  Serial.println((String) analogValue + val + t + "*C");
  if (val < 300) {
    digitalWrite(PIN_LED, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
  }
  if (t<30){
    digitalWrite(pel, HIGH); //включаем элемент Пельтье
    digitalWrite(fan, LOW); //выключаем куллер
  }
  if(t>=30){
    digitalWrite(pel, LOW); //выключаем элемент пельтье
    digitalWrite(fan, HIGH); //включаем куллер
  }
  if(analogValue>900){
    digitalWrite(pompa, HIGH);
  }
  if(analogValue<=900){
    digitalWrite(pompa, LOW);
  }
  delay(2000); //перерыв на 2 секунды
}
```

Рис. 2 код программы управления космической теплицей

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАКЕТА СПУТНИКА ФОРМАТА CUBESAT

*Т.Г. Костюченко, к.т.н., доцент
Д.А. Верхорубов, ученик МАОУ СОШ №65 г. Томск
Детский технопарк «Кванториум» г. Томск
тел. +7 (909)-549-41-18
E-mail: vivd@mail.ru*

Макетирование является важным этапом при создании спутника формата CubeSat, так как после этапа макетирования обычно следует этап оценки и пересмотра архитектуры спутника. Реализованный прототип помогает выявить различные ошибки на ранних стадиях разработки за счёт наглядного представления каждой системы в отдельности и спутника в целом: некорректное взаимодействие систем между собой, невыгодное расположение компонентов системы и так далее.

Реализацию прототипа можно разделить на несколько следующих этапов:

1. Анализ цели работы будущего спутника с учетом технического задания.
2. Разработка чертежей и 3D-моделей деталей для прототипирования в выбранном ПО.
3. Создание макета с учетом выбранных технологий прототипирования.

При создании модели спутника формата CubeSat 3U (целью которого является дистанционное зондирование Земли в поисках лесных пожаров) в Детском технопарке «Кванториум» г. Томск, для создания чертежей и 3D-моделей было выбрано и применено российское программное обеспечение T-FLEX CAD 17 (рис. 1). Детали для технологии прототипирования - 3D-печати были изготовлены на 3D-принтере Ultimaker 2+. В качестве технологии прототипирования используется также метод лазерной резки.

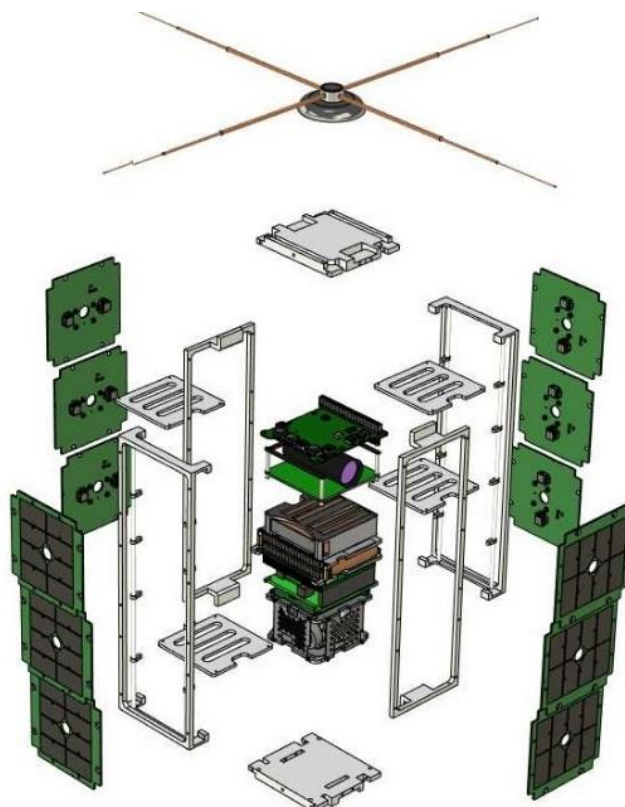


Рис. 1. 3D-модель спутника CubeSat в ПО T-FLEX CAD

Для изготовления деталей с помощью метода лазерной резки сначала создается 3D-модель детали. На основе 3D-модели создается 2D-чертеж, который является основой для создания управляющей программы для устройства лазерной резки.

Материал для детали, изготавливаемой на устройстве лазерной резки, может быть различным. Например, используются тонкие листы алюминия или фанеры.

В прототипе спутника CubeSat (рис. 2), изготовленном в Детском технопарке «Кванториум», были использованы как детали, напечатанные на 3D-принтере (внутренние панели отсеков спутника), так и детали, вырезанные на устройстве лазерной резки (панель с прорезью для камеры, на рис. 2 находящаяся на левой стороне спутника).

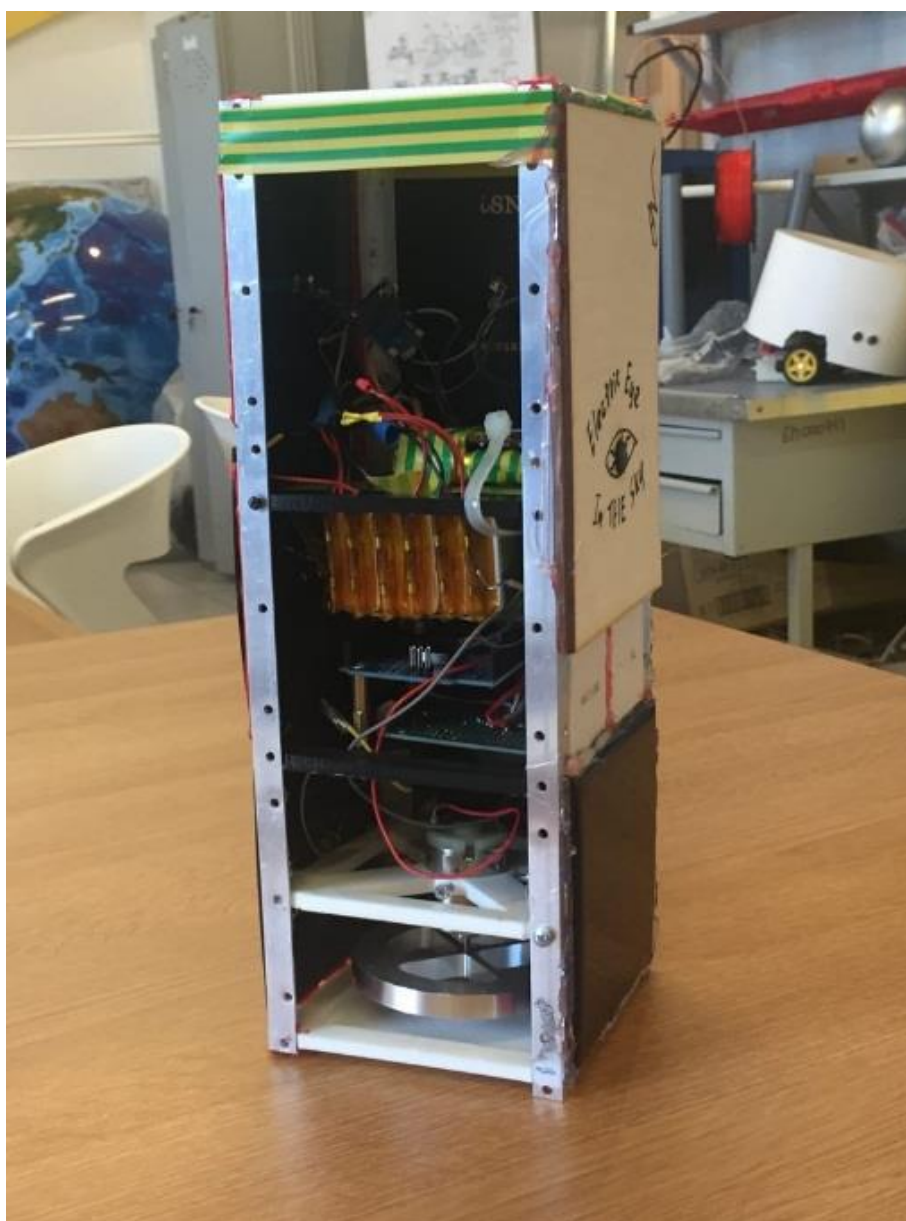


Рис. 2. Детали макета спутника, изготовленные прототипированием

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ СПУТНИКА CUBESAT В T-FLEX CAD

*Т.Г. Костюченко, к.т.н., доцент
Д.Г. Музыкантов, ученик 11 класса
Детский технопарк «Кванториум», г. Томск,
МАОУ СОШ №2, г. Томск
тел. +7(913)870-12-75
E-mail: dmit874@gmail.com*

При проектировании спутника важнейшую роль играет создание его 3D-модели, дающей полное и объективное представление о конструкции и составе систем спутника. T-FLEX CAD является программой, позволяющей создавать модели любого уровня сложности.

Для создания 3D-модели спутника CubeSat следует учитывать соответствующие требования к корпусу спутника [1]. Корпус спутника имеет сложную конфигурацию и может быть монолитным или состоять из отдельных элементов. Создание 3D-моделей корпуса или его составляющих, а также внутренних систем спутника подразумевает работу с предоставленными программой инструментами. Процесс создания 3D-модели элемента включает в себя создание его 2D-профиля (команда «Чертить») с последующим созданием объемного тела на основе профиля в 3D-пространстве (операции «Выталкивание», «Вращение», «Булева» и др.) (рис. 1).

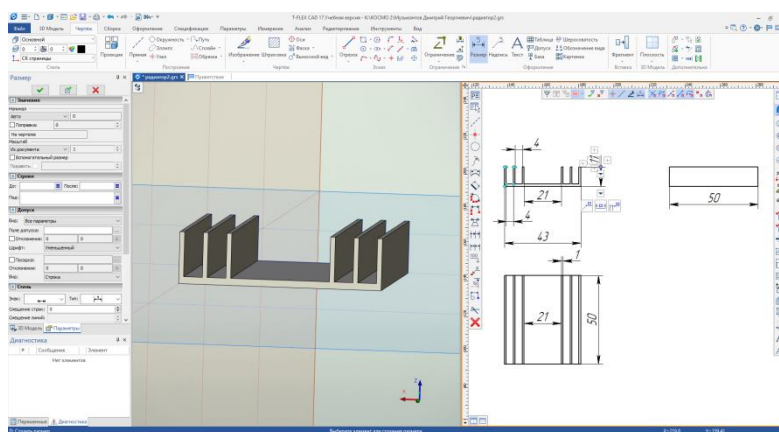


Рис. 1. Создание 3D-модели элемента

Сборочная 3D-модель имеет свои особенности. В процессе сборки с помощью операции «3D-элемент» подгружаются файлы 3D-элементов деталей, входящих в сборку, задается их положение в пространстве с помощью операции «Преобразование» (рис. 2).

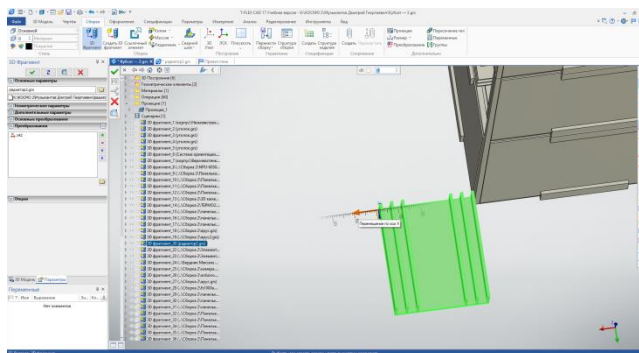


Рис. 2. Процесс сборки

По завершению процесса элементы сборки проверяется на наличие пересечений. На рис. 3 и 4 приведены сборочные 3D-модели спутника в собранном и разобранном виде.

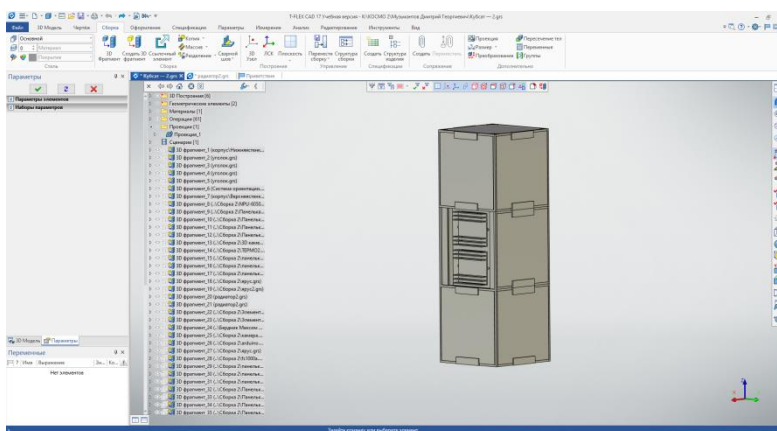


Рис. 3. Готовая модель (в собранном состоянии)

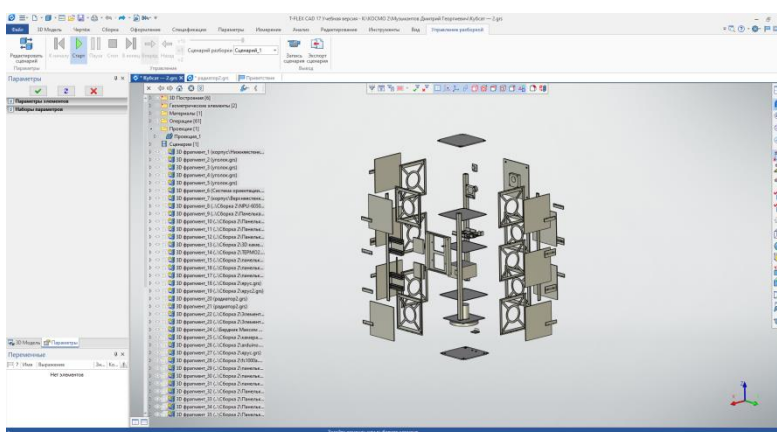


Рис. 4. Готовая модель (в разобранном состоянии)

3D-модель спутника позволяет увидеть недостатки конструкции, посмотреть компоновку систем спутника внутри корпуса и оценить конструкторские решения, а также скорректировать конструкцию спутника до его изготовления. Также модель может служить основой для проведения прочностного и других видов анализа разработанной конструкции.

Список литературы:

1. CubeSat Design Specification Rev. 14. – 7 с.
<https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/5f24997b6b6dea10cc52bb016/1596234122437/CDS+REV14+2020-07-31+DRAFT.pdf>

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРТОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАПУСКА ВОДЯНОЙ РАКЕТЫ

*Т.Г. Костюченко, к.т.н, доцент
Детский технопарк «Кванториум»
М. И. Ронжин, ученик 8"Б,,класса
МАОУ СОШ №23, г.Томск, пр.Фрунзе,124/1,
тел.8-929-372-10-40
E-mail: demon96ice@list.ru*

Водяная ракета – летательный аппарат, использующий в качестве рабочего тела воду, вытесняемую из корпуса ракеты через сопло давлением сжатого воздуха или иного газа. Водяная ракета — это сложный механизм, который несёт в себе опасность при запуске. Для исключения этого была разработана стартовая установка, которая отвечает всем нормам безопасности.

Стартовая установка и её составные части. Основными элементами пусковой установки, 3D-модель которой представлена на рисунке 1, являются:

- бруски, используемые для формирования жесткого основания;
- фиксирующие уголки для создания рамочной конструкции;
- крепежные детали (болты, гайки) для выравнивания основания и обеспечения постоянства конструкции;
- силиконовый шланг для подачи воздуха в корпус водяной ракеты;
- манометр контроля давления;
- насос (компрессор) для подачи воздуха.



Рис.1. 3D-модель стартовой установки

Предварительно были выполнен ручной эскиз основания пусковой установки. Затем было произведено 3D-моделирование всех элементов установки в CAD-системе T-Flex CAD. На рисунке 2 приведен чертеж и 3D-модель основания.

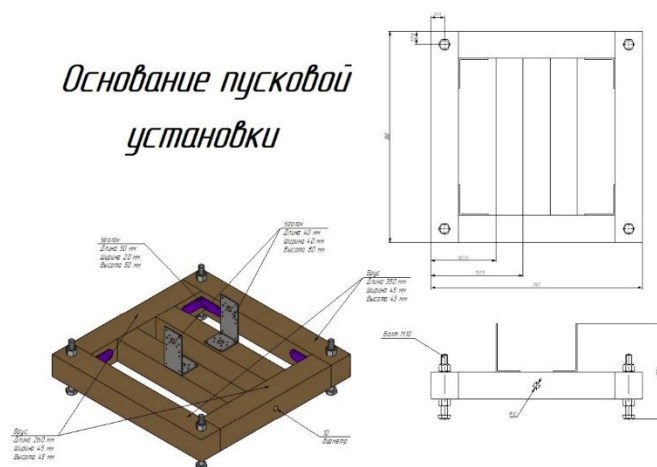


Рис.2. Основание пусковой установки

Рисунок-2 3D-модели основания стартовой установки

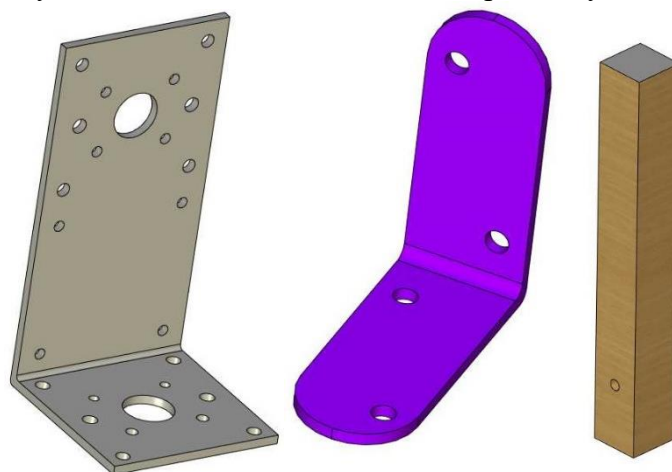


Рис.3. 3D-модели основных компонентов

Созданная модель пусковой установки водяной ракеты обеспечила выполнение следующих требований:

- надежное удержание ракеты на стартовой площадке, предотвращение самопроизвольного запуска и перекоса ракеты во время запуска;
- обеспечение рабочего давления воздуха внутри ракеты на уровне 10 атмосфер;
- обеспечение удобства загрузки ракеты жидким топливом – водой;
- удобство и простота транспортировки на стартовую позицию;
- возможность проведения надежного дистанционного запуска с безопасного расстояния (5-20 метров);
- способность быстрой реконструкции пусковой установки и проведения оперативного ремонта и замены деталей и узлов в полевых условиях;
- исключение повреждающего действия собственно на ракету (нарушение целостности корпуса ракеты).

Таким образом, создана 3D – модель пусковой установки по её эскизу.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МОТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА JAVASCRIPT

*Т.Г. Костюченко, к.т.н., тьютор детского технопарка «Кванториум»,
А.С. Терехова, учащаяся космоквантума детского технопарка «Кванториум»,
Детский технопарк «Кванториум», 634050, г.Томск, пр. Ленина, 26*

В рамках международного инженерного конкурса детских команд «Кванториада» создается платформа для внекорабельной деятельности космонавтов, которая представляет собой ящик для инструментов, который будет перемещаться по внешней стороне космической станции. Это очень облегчит работу космонавтов, ведь им не нужно будет таскать все инструменты на себе в открытом космосе, а часть ремонтной работы сможет делать манипулятор, входящий в состав платформы.

Передвигаться платформа будет по рельсам, а система передвижения будет работать на моторах постоянного тока.

Мотор постоянного тока – это машина, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую.

Принцип работы такого мотора основан на использовании электромагнитной индукции (рис.1).

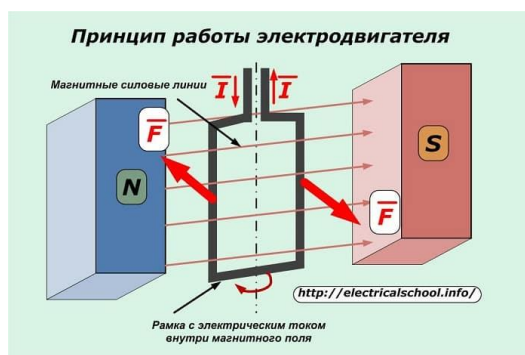


Рис. 1

Между магнитами расположена рамка. Как известно, на проводник с током действует сила Ампера. Если пропустить через нее ток, рамка примет такое положение, чтобы результирующая сила была равна 0. Меняем направление тока – рамка поворачивается на 180 градусов. Получается, если менять полярность через каждые пол оборота рамки, мотор будет вращаться в одну сторону.

Направление вращения мотора зависит от полярности входного напряжения.

Теперь разберемся с подключением и программированием.

Понадобится плата Raspberry pi, DS электромотор постоянного тока и драйвер L298N. На рисунке 2 показано, как подключать моторы к драйверу.

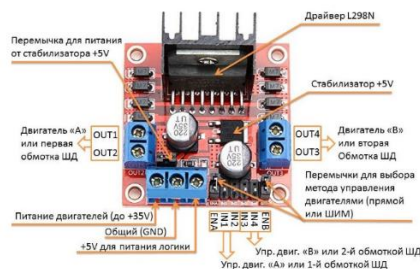


Рис.2. Подключение моторов к драйверу

Необходимо учитывать, что максимальный ток от драйвера к каждому мотору 2А. А допустимое напряжение моторов 5 – 35В.

Подключаем питание, как это показано на рисунке 3 (можно использовать только 1 мотор).

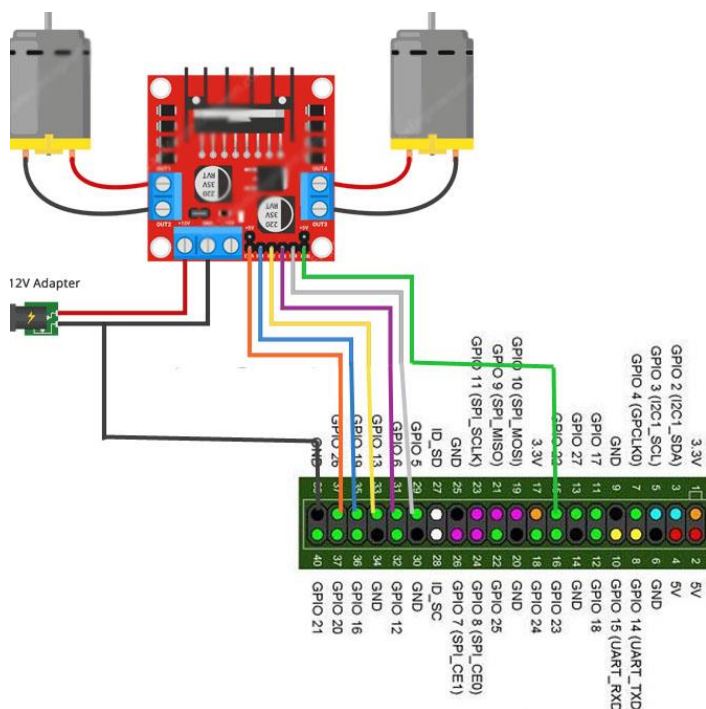


Рис.3. Подключение питания

Попробуем поворачивать мотором сначала в одну сторону, потом в другую. Ниже представлен код (рис.4).

```
const Gpio = require ( 'pigpio' ) . Gpio ;
const In1 = new Gpio ( 10, { mode: Gpio.OUTPUT } );
const In2 = new Gpio ( 14, { mode: Gpio.OUTPUT } );

setInterval ( () => {
  In1.digitalWrite ( 0 ) && In2.digitalWrite ( 1 ) ( 1000, 5 );
}, 5000 );

setInterval ( () => {
  In1.digitalWrite ( 1 ) && In2.digitalWrite ( 2 ) ( 1000, 5 );
}, 5000 );
```

Рис. 4. Код для вращения моторов

Первым делом импортируем библиотеку для работы с GPIO контактами “pigpio”. Далее указываем, к каким пинам подключен двигатель.

С помощью функции setInterval определяем время вращения мотора. В данном случае мотор будет вращаться 5 раз по 1000 миллисекунд в течении 5000 миллисекунд, т.е. 5 секунд без остановки.

Функция digitalWrite показывает, есть ли напряжение на контакте: 0 обозначает, что напряжения на контакте нет, 1 – есть. При изменении этих данных меняется направление вращения мотора.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник трудов
XIV Международной научно-технической конференции

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка М.С. Черемискина
Дизайн обложки М.С. Черемискина

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ