

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XIII Международной научно-практической
конференции

26-28 мая 2022 года
Юрга

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

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XIII Международной научно-практической конференции

26–28 мая 2022 г.

Томск 2022

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

И66

И66 Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов
XIII Международной научно-практической конференции / Юргинский техно-
логический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического универси-
тета, 2022. – 140 с.

ISBN 978-5-4387-1074-5

Сборник содержит материалы XII Международной научно-практической конфе-
ренции по современным проблемам инновационных технологий в сварочном производ-
стве, машиностроении, металлургии, автоматизации производства и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студен-
тов технических специальностей.

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

Ответственный редактор

С.А. Солодский

Редакционная коллегия

М.А. Кузнецов

Д. П. Ильященко

С.В.Разумников

Е.В. Телипенко

А.Г. Мальчик

А.В. Проскоков

Н.А. Сапрыкина

ISBN 978-5-4387-1074-5

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2022

СОДЕРЖАНИЕ

**СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

ГЕОМЕТРИЯ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ	
<i>Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И.</i>	7
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СБОРКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Трошин А.А., Захаров О.В.</i>	11
МАГНИЕВЫЙ СПЛАВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЭКСТРУЗИЕЙ	
<i>Лугинин Н.А., Ерошенко А.Ю., Легостаева Е.В.</i>	14
ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКЦИЙ РОТАЦИОННЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Евтушенко Т.Л., Янюшкин А.С., Касенов А.Ж.</i>	17
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 5-КООРДИНАТНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ	
<i>Черданцев П.О., Черданцев А.О., Животикова О.Е.</i>	19
АНТИКОРРОЗИОННОЕ КЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ МА2-1ПЧ	
<i>Седельникова М.Б., Кашин А.Д.</i>	24
НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БУРОВЫХ ДОЛОТ	
<i>Мартюшова А.А., Мнацаканян В.У.</i>	26
ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИШЕНИ ДЛЯ ВЧ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ИЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ CU-W	
<i>Просолов К.А., Сулиз К.В., Шаркеев Ю.П.</i>	29
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК В АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ	
<i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Шаркеев Ю.П., Ибрагимов Е.А., Химич М.А.</i>	31
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТА AL-7FE-38SN ВРАЩАЮЩИМСЯ ПЛОСКИМ ДИСКОМ	
<i>Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Чумаевский А.В.</i>	34
ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ, НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Филиппов А.В., Шамарин Н.Н.</i>	38
МОРФОЛОГИЯ ПРЕКУРСОРОВ СИСТЕМЫ Ti-AL ПОСЛЕ МЕХАНОАКТИВАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Собачкин А.В., Мясников А.Ю.</i>	41
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ «СТЯЖКА» МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	
<i>Тимофеев В.Ю., Сопова С.П., Максатбеков Б.М.</i>	42
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БРОНЗЫ БРКМЦ 3-1 НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ДОБАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВОГО ФИЛАМЕНТА	
<i>Филиппов А.В., Хорошко Е.С., Шамарин Н.Н.</i>	45
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕХАНИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ	
<i>Химич М.А., Ибрагимов Е.А., Чебодаева В.В.</i>	48
ПОРОШКОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО СПЛАВА	
<i>Химич М.А., Ибрагимов Е.А., Сапрыкин А.А.</i>	50

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОПАТОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ	
<i>Малыш С.В., Чаугарова Л.З., Ковенский И.М.</i>	53
ОБРАБОТКА НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ	
<i>Ласуков А.А.</i>	56
БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП ВОЗВЕДЕНИЯ ОБДЕЛКИ, ПРИ РАБОТЕ ТПМК НА БАЗЕ ГЕОХОДА	
<i>Казанцев А.А., Яровой С.Е.</i>	58
К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ	
<i>Теслева Е.П., Кожеевникова К.В.</i>	61
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ГИБРИДНО-СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	
<i>Каримов Р.Д., Берлова М.А., Каюмов Д.А., Ахмедьянов И.М.</i>	64
ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ВНУТРЕННИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ЛИТОЙ КОРПУСНОЙ ДЕТАЛИ	
<i>Татаринцев В.А.</i>	66

СЕКЦИЯ 2: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ МИКРОДИАПАЗОНА	
<i>Кузнецов М.А., Курбонов А.М., Сайлаухан Т.С.</i>	73
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ РДС	
<i>Ильященко Д.П.</i>	75
ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА	
<i>Крюков А.В., Кузельникова А.М.</i>	77
ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ MIG-MAG СВАРКЕ	
<i>Солодский С.А., Сайлаухан Т.С.</i>	79
СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАПЛАВКИ ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	
<i>Гордынец А.С., Непомнящий А.С.</i>	84

СЕКЦИЯ 3: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ АНАЛОГОВЫХ ОКОНЧАНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	
<i>Батенков К.А.</i>	88
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ МОНОГОРОДА	
<i>Захарова А.А., Захаров Л.Ю.</i>	90
РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АНАЛИЗА ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В КОТЕЛЬНОМ ЦЕХЕ	
<i>Телипенко Е.В.</i>	94
МОДЕЛЬ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТЕПЕНИ УЯЗВИМОСТИ УЧАСТКОВ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	
<i>Разумников С.В.</i>	98
РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В РОБОТИЗИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ	
<i>Долматов Д.О.</i>	101

СЕКЦИЯ 4: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО-ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	
<i>Носова М.В.</i>	105
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>Нгуен Суан Хынг, Нго Ву Нгэун, Нгуен Тхэ Винь</i>	106
СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДНЫХ СРЕД ОТ ИОНОВ $Fe(II)$	
<i>Журавков С.П., Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О., Овчинников В.В.</i>	109
ПРИДАНИЕ ТКАНЕВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ	
<i>Журавков С.П., Мартемьянов Д.В., Тябаев А.Е., Овчинников В.В.</i>	111
ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Журавков С.П., Пьянков Д.А., Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О.</i>	113
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ОБЩЕСТВЕННИКОВ	
<i>Родионов П.В.</i>	117
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФТОРА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ	
<i>Журавков С.П., Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О., Пьянков Д.А.</i>	118
ИЗВЛЕЧЕНИЕ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ ИЗ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Журавков С.П., Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О., Симакин Д.П.</i>	120
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ В ВОДЕ РЕКИ ПОРОС ТОМСКОГО РАЙОНА	
<i>Журавков С.П., Симакин Д.П., Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О.</i>	122
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО СОРБЕНТА ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИМ ИЗ ВОДЫ ИОНОВ $As(III)$ И $As(V)$	
<i>Журавков С.П., Симакин Д.П., Мартемьянов Д.В., Тябаев А.Е.</i>	124
СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИМИ ИОНОВ ФТОРА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД	
<i>Мартемьянов Д.В., Казанцев С.О., Журавков С.П., Солярский Н.И.</i>	126
ИЗУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО ФИЛЬТРСОРБЕНТА И ИЗВЛЕЧЕНИЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ ИЗ ВОДЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ	
<i>Казанцев С.О., Солярский Н.И., Мартемьянов Д.В., Журавков С.П.</i>	128
ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА РИСКА В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА	
<i>Мальчик А.Г., Тищук А.А.</i>	130
ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ	
<i>Мальчик А.Г., Ачелов С.С.</i>	134

СЕКЦИЯ 1

Технологии получения
и обработки материалов
в машиностроении

ГЕОМЕТРИЯ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

О.Г. Девойно, д.т.н., проф., М.А. Кардаполова, к.т.н., доц., Н.И. Луцко^а, науч. сотр.,

Белорусский национальный технический университет

220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45

E-mail: ^аnilucko@tut.by

Аннотация. В статье изучены закономерности формирования геометрических параметров единичных валиков из самофлюсующегося сплава на основе никеля при лазерной наплавке с поперечным сканированием. Получены зависимости ширины, высоты и степени диффузии валиков от режимов лазерной наплавки. Установлено, что режимы лазерной наплавки с поперечным сканированием оказывают значительное влияние на геометрию единичных валиков.

Ключевые слова: лазерная наплавка, высота валиков, ширина валиков, степень диффузии, режимы наплавки

Abstract. The paper studies the regularities in the formation of the geometric parameters of single tracks made of a self-fluxing nickel-based alloy during laser cladding with transverse scanning. The dependences of the width, height, and degree of tracks diffusion on the modes of laser cladding are obtained. It has been established that the regimes of laser cladding with transverse scanning have a significant effect on the geometry of single tracks.

Keywords: laser cladding, tracks height, tracks width, degree of diffusion, cladding modes

Среди технологий упрочнения-восстановления поверхностей лазерная наплавка является наиболее быстро развивающейся технологией. Этому способствует то, что, с одной стороны, наплавленные лазером покрытия имеют небольшой размер зерна, низкую степень диффузии, меньшее количество дефектов и высокую прочность сцепления с подложкой, а, с другой стороны, эти покрытия характеризуются высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, усталостной стойкостью и стойкостью к окислению. Все эти свойства лазерной наплавки обуславливают ее широкое применение при ремонте и упрочнении поверхностей деталей во многих отраслях промышленности.

В последнее время появилось новое поколение твердотельных лазеров (диодных и волоконных), мощность излучения которых может достигать нескольких десятков киловатт. Однако, эти лазеры имеют очень высокий коэффициент поглощения лазерного излучения для металлов, что затрудняет расфокусировку излучения в разумных пределах, допускающих технологическое применение этих лазеров [5, 6]. Решение возникших проблем было найдено путем использования систем программно управляемого сканирования лазерного пятна [7-9]. Системы сканирования позволяют использовать при наплавке сильно сфокусированный луч мощного лазера, распределяя его по достаточно большой поверхности без сильного изменения ее свойств, не вызывая разрушения. Системы программируемого сканирования дают возможность изменять размеры наплавливаемых валиков в режиме онлайн в широком диапазоне для гибкой адаптации к требованиям геометрии детали. Главными преимуществами процесса лазерной наплавки со сканированием являются увеличение производительности процесса, улучшение стабильности и гибкая геометрия наплавленного валика. Настоящая статья посвящена изучению геометрии валиков наплавки при различных режимах процесса.

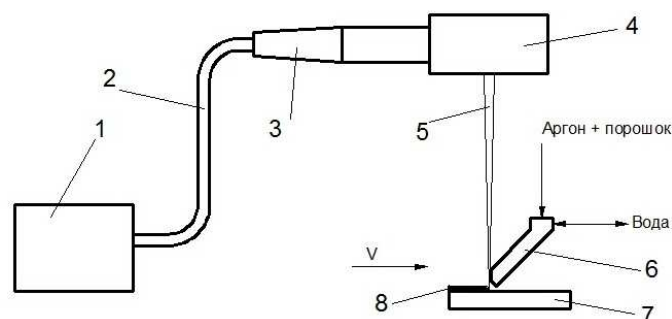


Рис. 1. Схема процесса лазерной наплавки с поперечным сканированием

1 – волоконный лазер; 2 – оптоволоконный кабель; 3 – коллиматор; 4 – 2D сканер;
5 – сканируемый луч лазера; 6 – целевое наплавочное сопло; 7 – наплавливаемый образец;
8 – наплавленный валик; v – направление наплавки валиков

В качестве материала покрытия при наплавке использовался порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01, который перед наплавкой просеивался до грануляции 20-80 мкм и подвергался сушке в электропечи при температуре 200 °С в течение двух часов. Использовался способ боковой лазерной наплавки. Порошок с помощью дискового питателя подавался в зону действия лазерного излучения впереди лазерного пятна на поверхности подложки в направлении наплавки. Для подачи и распределения порошка применялось специально разработанное щелевое сопло с водяным охлаждением. Использовался волоконный лазер фирмы IPG (США) типа YLR-1 мощностью 1000 Вт. Необходимые перемещения оптической системы относительно образца производились с помощью координатного стола портального типа, оснащенного системой ЧПУ «РУХ-4.0». Поперечное сканирование лазерного пятна относительно направления наплавки осуществлялось программируемым 2D сканером фирмы Ситела (Республика Беларусь). Наплавка единичных валиков производилась на призматические образцы из стали 45 при различных скоростях наплавки и площадях пятна сканирования. Схема наплавки приведена на рисунке 1. Сканирование луча осуществлялось перпендикулярно плоскости рисунка.

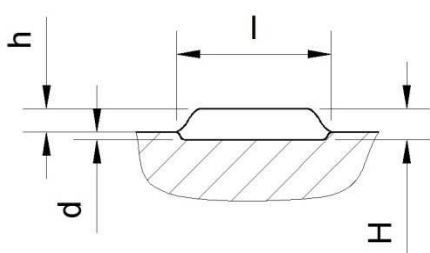


Рис. 2. Геометрические параметры наплавленных валиков

Образцы с наплавленными на разных режимах единичными валиками разрезались перпендикулярно направлению валиков. Затем изготавливались поперечные шлифы наплавленных валиков и по их микроскопическим изображениям определялись геометрические параметры валиков – ширина валиков I , общая высота валиков H , высота валиков над поверхностью основы h и величина проплавления подложки d (рисунок 2). Замеры указанных параметров производились с помощью металлографического микроскопа Микро Р200.

Скорость наплавки заметно влияет на ширину валиков наплавки (рис. 3). При увеличении скорости наплавки ширина валиков уменьшается для любых площадей пятна сканирования. Это связано с тем, что при увеличении скорости наплавки уменьшается удельная энергия, поглощаемая подложкой. При этом уменьшается диаметр ванны расплава на подложке, а, соответственно, и ширина валика.

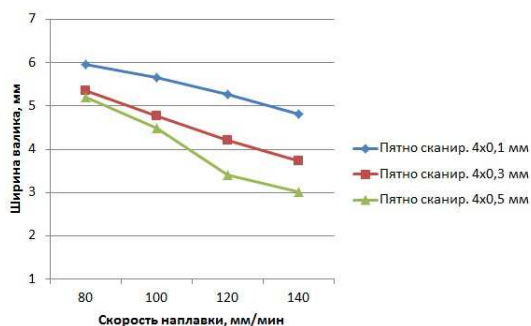


Рис. 3. Зависимости ширины валиков наплавки от скорости наплавки

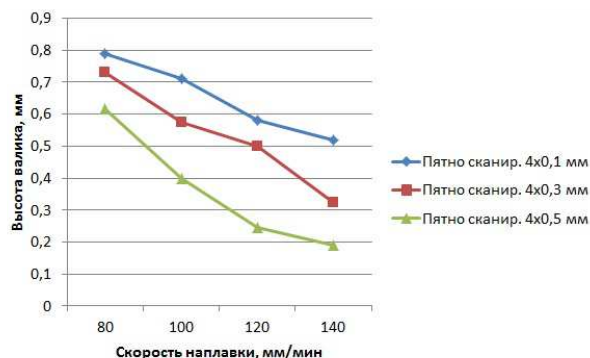


Рис. 4. Зависимости высоты валиков наплавки от скорости наплавки

При увеличении скорости наплавки уменьшается также и высота валиков (рис. 4). В этом случае происходит влияние двух факторов. Во-первых, уменьшается энерговклад в покрытие, поэтому не весь подаваемый порошок расплавляется и попадает в валик. Во-вторых, одно и то же количество подаваемого порошка распределяется на большей длине валика. Благодаря действию сразу двух факторов, уменьшение высоты валиков при росте скорости наплавки происходит более интенсивно, чем уменьшение их ширины (рис. 3 и 4).

При увеличении площади пятна сканирования происходит уменьшение ширины валиков наплавки (рис. 5). Это происходит потому, что при увеличении площади распределения энергии лазерного луча и уменьшении удельной энергии, поступающей в покрытие, уменьшается размер ванны расплава на поверхности подложки и, соответственно, уменьшается ширина валика.

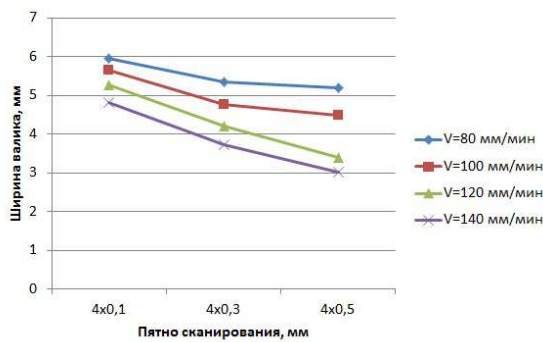


Рис. 5. Зависимости ширины валиков наплавки от площади пятна сканирования

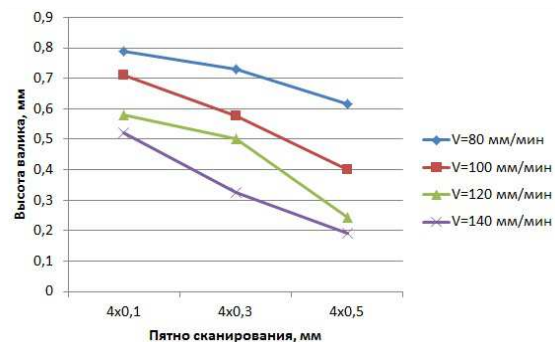


Рис. 6. Зависимости высоты валиков наплавки от площади пятна сканирования

При увеличении площади пятна сканирования уменьшается также и высота валиков наплавки (рис. 6). Это связано с уменьшением удельной энергии, поступающей в валик, что не позволяет всему поступающему порошку закрепиться в наплавляемом валике.

Важным показателем качества лазерной наплавки является величина диффузии материала наплавленного валика в материал подложки. При качественной наплавке величина диффузии должна находиться на минимальном уровне. Исследованные геометрические параметры валиков дают возможность произвести расчет степени геометрической диффузии D материала валика в материал подложки. Расчет величины D в процентах производился по формуле (1) с учетом рис. 2 для всех режимов наплавки.

$$D = \frac{d}{H} \times 100 = \frac{H - h}{H} \times 100 \quad (1)$$

Полученные в результате произведенных расчетов данные показывают, что при увеличении скорости наплавки степень диффузии увеличивается (рис. 7). Это происходит вопреки уменьшению удельной энергии, поступающей в валик. Причина заключается в том, что при низкой скорости наплавки, ванна расплава работает как защитный экран от лазерного излучения и диффузия имеет небольшую величину. С увеличением скорости наплавки материал подложки впереди ванны расплава открывается для лазерного излучения, что позволяет лазеру напрямую расплавлять материал подложки, увеличивая диффузию [10].

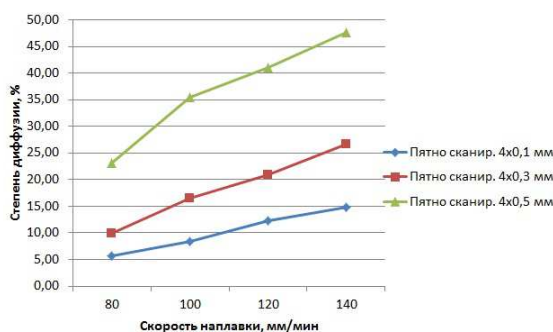


Рис. 7. Зависимости степени диффузии материала валиков в подложку от скорости наплавки

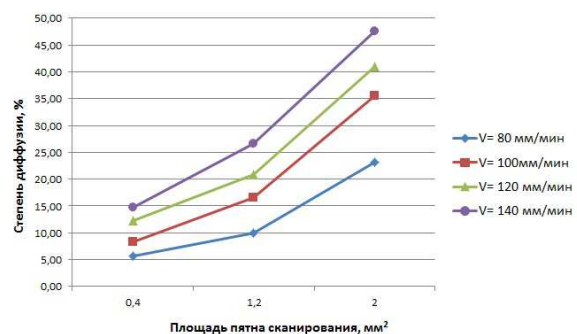


Рис. 8. Зависимости степени диффузии материала валика в подложку от площади пятна сканирования

Степень диффузии материала валиков также увеличивается с увеличением площади пятна сканирования (рис. 8). Дело в том, что площадь пятна сканирования увеличивается за счет увеличения высоты пятна сканирования в направлении наплавки при его неизменной ширине. Это увеличение высоты пятна сканирования в направлении наплавки действует приблизительно так же, как увеличение скорости наплавки, открывая материал подложки впереди ванны расплава и увеличивая степень диффузии.

Зависимости, приведенные на рис. 7 и 8, показывают, что минимальные степени диффузии наблюдаются при минимальных скоростях наплавки и минимальных площадях пятна сканирования. В этом случае величина диффузии не превышает 5,6 %. При максимальных значениях скорости наплавки и площади пятна сканирования величина диффузии может достигать 47,6 %, что крайне неблагоприятно сказывается на качестве лазерной наплавки.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что режимы лазерной наплавки с поперечным сканированием оказывают существенное влияние на формирование размеров валиков наплавки и степень диффузии материала валиков в материал подложки.

При увеличении скорости наплавки, высота и ширина валиков уменьшаются. Такое же влияние на геометрию валиков оказывает и увеличение площади пятна сканирования.

Степень геометрической диффузии материала валиков в материал подложки, наоборот, увеличивается при увеличении скорости наплавки и площади пятна сканирования. Для обеспечения высокого качества наплавленного слоя, процесс наплавки целесообразно производить при минимальных скоростях наплавки и небольшой величине площади пятна сканирования.

Понимание влияния режимов лазерной наплавки на геометрию единичных валиков и степень диффузии облегчает назначение правильных технологических режимов лазерной наплавки конкретных деталей.

Список используемых источников:

1. Naghiyan Fesharki, M. Microstructure investigation of Inconel 625 coating, obtained by laser cladding and TIG cladding methods [Электронный ресурс]/ M. Naghiyan Fesharki, R. Shoja-Razavi, H.A. Mansouri, H. Jamali// Surface & Coating Technology. – 2018. – V. 353. – P. 25-31. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.061>.
2. Meng, L. A comparison of microstructure and mechanical properties of laser cladding and laser-induction hybrid cladding coatings on full scale rail [Электронный ресурс]/ L. Meng, W. Zhao, K. Hou, D. Kou, Z. Yuan, X. Zhang// Materials Science and Engineering. – 2019. – V. A748. – P. 1-15. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.01.068>.
3. Dai, J. Characterization and correlation of microstructure and hardness of Ti6Al4V sheet surface-treated by pulsed laser [Электронный ресурс]/ J. Dai, T. Wang, L. Chai, X. Hu, L. Zhang, N. Guo// Journal of Alloys Compounds. – 2020. – V. 826. – # 154243. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jallcov.2020.154243>.
4. Chai, L. Materials characterization microstructural characteristics of a commercially pure Zr treated by pulsed laser at different powers [Электронный ресурс]/ L. Chai, B. Chen, S. Wang, Z. Zhou, W. Huang// Materials Characterization. – 2015. – V. 110. – P. 25-32. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.10.008>.
5. Farahmand, P. An experimental-numerical investigation of heat distribution and stress field in single and multi-track laser cladding by a high power direct diode laser/ P. Farahmand, R. Kovacevic// Optics & Laser Technology. – 2014. – V. 63. – P. 154-168.
6. Zhong, M. Microstructural evolution in high power laser cladding of Stellite 6/WC layers/ M. Zhong, W. Liu, K. Yao// Surface & Coating Technology. – 2002. – V. 157. P. 128-137.
7. Klocke, F. Flexible scanner-based laser surface treatment/ F. Klocke, C. Brecher, D. Heinen, C.-J. Rosen, T. Breitbach// Physics Procedia (LANE 2010). – V. 5. – P. 467-475 (doi:10.1016/j.phpro.2010.08.169).
8. Hoadley, A.F.A. A thermal model of laser cladding by powder injection/ A.F.A. Hoadley, M. Rappaz// Metallurgical and Materials Transactions. – 1992. – V. B23. – P. 631-642.
9. Laser Institute of America, LIA Handbook of Laser Material Processing/ Edited by J.F. Ready. – Orlando: Magnolia Publishing Inc., 2001. – 715 p.
10. Pekkarinen, J. Scanning optics enabled possibilities and challenges in laser cladding/ J. Pekkarinen// Physics Procedia. – 2015. – No 78. – P. 285-295.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СБОРКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*А.А. Трошин, аспирант, О.В. Захаров^а, д.т.н., профессор
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: ^аzov20@mail.ru*

Аннотация. Постоянное повышение требований к точности механизмов определяет новые требования к точности сборки изделий. Для решения данной задачи необходимо создание математической модели высокой степени адекватности. Модель должна учитывать реальную геометрию изделий в виде погрешностей размеров, формы, а в некоторых случаях шероховатость поверхностей. Повысить эффективность селективной сборки можно за счет предварительного моделирования. В статье предложена новая математическая модель, базирующаяся на разностной плоскости, которая получается при развертке цилиндров. Алгоритм расчета определяет три точки контакта на разностной плоскости. На основе трех точек рассчитывается положение оси подвижного цилиндра. Считается, что подвижный цилиндр в сборке смещается по двум осям и поворачивается вокруг двух осей. Основным результатом расчета сборки будут погрешность ориентации в виде допуска параллельности и погрешность расположения в виде допуска соосности. Проведенное моделирование на различных примерах показало высокую степень адекватности разработанной математической модели.

Ключевые слова: модель сборки, цилиндрические изделия, погрешность сборки.

Abstract. The constant increase in the requirements for the accuracy of mechanisms determines new requirements for the assembling products accuracy. To solve this problem, it is necessary to create a mathematical model of a high degree of adequacy. The model must take into account the actual geometry of products errors in size, form, and in some cases surface roughness. It is possible to increase the efficiency of selective assembly through preliminary modeling. The article proposes a new mathematical model based on the difference plane, which is obtained by sweeping the cylinders. The calculation algorithm determines three contact points on the difference plane. Based on the three points, the axis position of the movable cylinder is calculated. It is considered that the movable cylinder in the assembly is displaced along two axes and rotates around two axes. The main result of the assembly calculation will be the orientation error in the form of a parallelism tolerance and the location error in the form of a coaxiality tolerance. The simulation carried out on various examples showed a high degree of adequacy of the developed mathematical model.

Keyword: assembly model, cylindrical products, assembly error.

Введение

Одним из перспективных научных и практических направлений в машиностроении стало применение цифровых двойников. В цифровой модели используются не номинальные размеры изделия, а реальные геометрические характеристики [1,2]. Для этого требуется измерение геометрии поверхностей изделия или моделирование погрешностей формы [3,4]. Применение цифровых двойников позволяет решить многие задачи при проектировании, изготовлении, сборке и эксплуатации изделий. Наиболее сложной задачей является создание моделей не отдельных деталей, а сборок изделий. Анализ точности сборки выполняют на этапе проектирования механизмов. Целью является назначение оптимальных допусков на размеры, форму, ориентацию и расположение деталей. Статистическому анализу погрешностей сборки при проектировании посвящены работы [5]. На этапе изготовления и сборки изделий повышается эффективность технологических операций за счет моделирования оптимального сочетания параметров. Уменьшению погрешностей сборки при производстве изделий на основе моделирования и оптимизации посвящены работы [6,7].

Известные математические модели сопряжения поверхностей используют разностную поверхность, карту допусков или модели реальной геометрии. Известные модели решают задачи для отдельных типов поверхностей (плоскостей, конусов, цилиндров) с различной степенью адекватности. Основными аспектами проблемы являются определение точек контакта при сопряжении поверхностей, учет погрешностей формы и шероховатости поверхностей, рассмотрение деформации в процессе сборки, моделирование и оптимизация выходных параметров сборки [8,9].

Математическая модель

Нами предлагается новая математическая модель сборки двух цилиндров с погрешностями формы. В основу новой модели положено свойство развертываемости цилиндра. Поэтому для расчетов точек контакта модель использует разностную плоскость. Разностная плоскость в данном случае получается в виде развертки на плоскость разности двух цилиндрических поверхностей.

При создании математической модели приняты следующие допущения:

- існуюцца супражэнні паверхнасцей з зазорам;
- супражаемыя іздзеія прадстаўляюць сабой жэстыкі тэла, не дэфарміруемыя пры зборцы;
- устойлівае становішча зборкі ўзнікае пры трох кропках кантакта двух паверхнасцей, кропкі не ляжаць на адной прамой і ў адным торцавым сечэнні;
- адна з дэталей неподвiжна, а другая мае магчымасць смяшчацца перпендыкулярна асі і вяртацца вакол двух каардынатных асцей;
- каардынаты цыліндрычэскіх паверхнасцей ісходна заданы на аднакавай равнамернай сетцы, пры смяшчэннях і паваротах із-за маласці велічын не прайсходзіць іскажэння сеткі.

Пастроенне разностной плоскости начинается с преобразования координат из декартовой в цилиндрическую систему координат по известным формулам (рис. 1). Разностная плоскость представляет собой разность радиусов двух поверхностей в некотором исходном угловом положении (рис. 2). Разностная плоскость задается в цилиндрических координатах через угол φ и линейный параметр l . На основе разностной плоскости численным методом определяют три начальные точки контакта 1, 2, 3, которые имеют минимальные значения $r_i(\varphi_i, l_i)$.

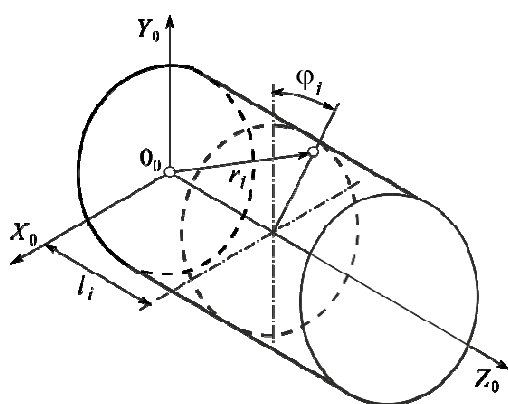


Рис. 1. Математическое описание цилиндрической поверхности

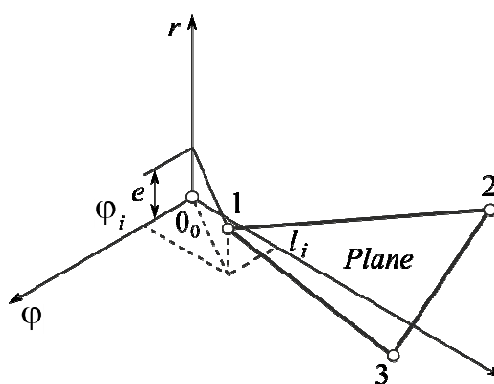


Рис. 2. Координатная схема разностной плоскости

После этого по трем смещенным точкам 1, 2, 3 строится плоскость из решения уравнения:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

В результате начального контакта подвижная деталь 2 поворачивается относительно неподвижной детали 1 на угол, определяемый начальной плоскостью 1 (рис. 2). Углы α, β, γ между плоскостью и координатными осями x, y, z , вычисляются по известной формуле:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arccos \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \\ \beta &= \arccos \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \\ \gamma &= \arccos \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Сборка двух цилиндров (рис. 3) выполняется на основе преобразования декартовых координат, где матрица преобразований имеет вид:

$$F = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \cos \beta & -\sin \alpha \sin \beta & a \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & b \\ \sin \alpha & -\cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $e = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$.

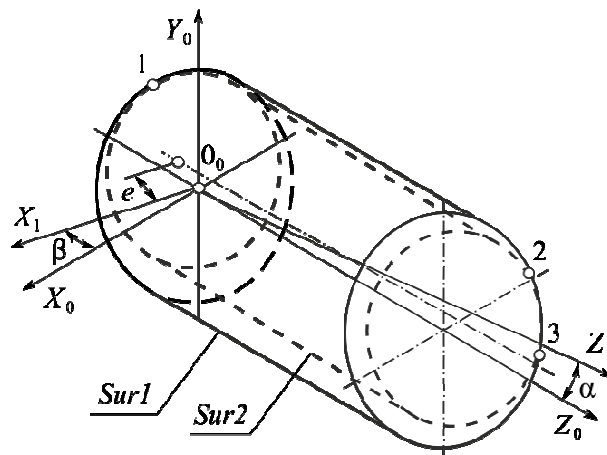


Рис. 3. Координатная схема сборки

Математическая модель была реализована в программе MATLAB. Пример расчета по программе показан на рис. 4,5. На рис. 4 показана сборка двух цилиндров в исходном положении. Поверхности заданы 1500 точками. Погрешности формы изображены с увеличением. На рис. 5 показаны сборка цилиндров в конечном положении. Три точки контакта выделены красным цветом.

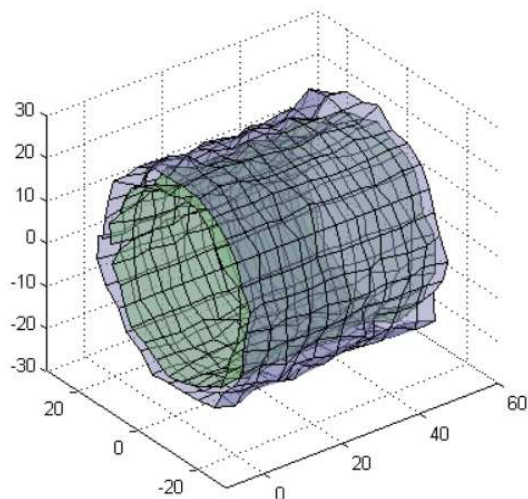


Рис. 4. Моделирование сборки цилиндров (начальное положение)

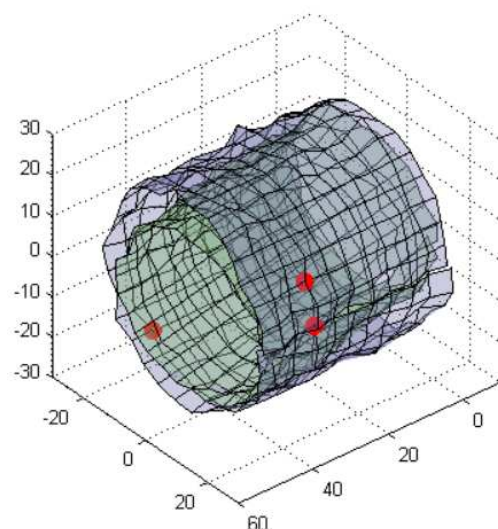


Рис. 5. Моделирование сборки цилиндров (конечное положение)

Заключение

В статье представлена новая математическая модель для сборки цилиндрических изделий. Новая модель основана на разностной плоскости, представляющей собой разность разверток двух цилиндров. По разностной плоскости находятся три точки контакта с помощью численного алгоритма.

Затем строится плоскость по трем точкам и находятся смещения и углы поворота подвижной детали относительно неподвижной. В результате определяют погрешности ориентации и месторасположения. Проведено моделирование сборки из двух цилиндров с погрешностями формы с использованием программы MATLAB. Моделирование подтвердило хорошую сходимость разработанной математической модели. Погрешность расчета не превышает 5 % от исходной погрешности формы изделий.

Список используемых источников:

1. Непомилуев В.В. Перспективные направления совершенствования качества сборки изделий машиностроения / В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов // Известия Тульского государственного университета. 2016. № 8-2. С. 71-78.
2. Прогнозирование погрешностей сборки изделий с использованием действительных моделей деталей / Ю.С. Елисеев, М.А. Болотов, В.А. Печенин и др. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18. № 2. С. 128-137.
3. Захаров О.В. Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей / О.В. Захаров // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 7. С. 14-16.
4. Гречников Ф.В. Минимизация объема измерений при контроле цилиндрических поверхностей на основе статистического моделирования / Ф.В. Гречников, А.С. Яковишин, О.В. Захаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2017. № 4. С. 101-110.
5. Изнаиров О.Б. Достижение точности замыкающего звена при сборке методом стохастического регулирования / О.Б. Изнаиров, Б.М. Изнаиров, А.Н. Васин // СТИН. 2013. № 10. С. 36-39.
6. Модель сопряжения деталей с коническими поверхностями / В.А. Печенин, М.А. Болотов, Н.В. Рузанов и др. // СТИН. 2017. № 3. С. 28-33.
7. Ямников А.С. Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей / А.С. Ямников, О.А. Ямникова, И.А. Матвеев, Е.Н. Родионова // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 7. С. 13-17.
8. Захаров О.В. Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке / О.В. Захаров. Саратов: СГТУ, 2006. 152 с.
9. Хаймович И.Н., Клентак Л.С. Усовершенствование методов сглаживания сложных поверхностей с использованием интерполяционных сплайнов // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-12. С. 2634-2638.

МАГНИЕВЫЙ СПЛАВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЭКСТРУЗИЕЙ

Н.А. Лугинин^{1,2,a}, аспирант, А.Ю. Ерошенко² с.н.с, Е.В. Легостаева² с.н.с.

Научный руководитель: Шаркеев Ю.П.^{1,2}, профессор, д.ф.-м.н.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

634050, Томская обл., г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

²Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук,

634055, Томская обл., г. Томск, проспект Академический, дом 2/4.

E-mail: ^anikishek90@gmail.com

Аннотация. представлены экспериментальные результаты влияния структурного состояния магниевого сплава системы Mg-Ca на физико-механические свойства. Показано, что экструзия повышает прочностные и пластические свойства данного сплава.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, механические свойства, структура, магниевый сплав.

Abstract. Experimental results of the influence of the structural state of the Mg-Ca magnesium alloy on the physical and mechanical properties are presented. It is shown that extrusion increases the strength and plastic properties of this alloy.

Keyword: intensive plastic deformation, mechanical properties, structure, magnesium alloy.

Введение

В настоящее время уделяется большое внимание разработке новых материалов для медицинских применений, особенно это касается группы биоразлагаемых материалов. Существуют различные биоразлагаемые металлические материалы, однако они не удовлетворяют ряду требований, а именно по скорости резорбции в организме, уровню механических свойств и биосовместимости [1-3]. Группа металлических материалов на основе магния лучше всего соответствует биосовместимости. Однако у данных сплавов скорость резорбции слишком велика, что ограничивает их применение в медицине [2]. Более того, магниевые сплавы имеют низкие механические свойства, что не позволяет их использовать для изделий, подверженных несущим нагрузкам [1]. Для улучшения физико-механических свойств применяют различные методы интенсивной пластической деформации [4], которые позволяют значительно улучшить механические свойства магниевых сплавов за счет измельчения зернистой структуры без существенного изменения скорости биорезорбции. Коррозионные и биологические свойства сплавов можно регулировать путем легирования биосовместимыми элементами такими как цинк, марганец, кальций и др. Целью данной работы является изучение структуры и механических свойств магниевого сплава *Mg-Ca* при обработке экструзией.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являлся сплав системы *Mg-Ca*. Сплав был получен методом литья в тигель. Сплав исследовали в экструдированном и рекристаллизованном состояниях. Экструдированное состояние образцов было получено методом обратного прессования со скоростью 0,5 мм/с при температуре заготовки и стенок экструдера 350 °С. Рекристаллизованное состояние в сплаве получали отжигом заготовки при температуре 525 °С в течение 8 часов в аргоне с последующим охлаждением на воздухе. В двух состояниях образцы имели форму прутков диаметром 14 мм. Элементный состав сплава (*Mg* – 99,2 мас. %; *Ca* – 0,8 мас.%) был определен методом ЭДС-анализа на растровом электронном микроскопе LEO EVO 50. Были определены следующие механические характеристики: микротвёрдость по Виккерсу (микротвердомер Duramin-5, Дания), условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, предел прочности σ_B и относительное удлинение δ (Испытательная машина Instron 8801, Великобритания) в соответствии с ГОСТ 1497-84. Микроструктуру образцов сплава исследовали методом оптической микроскопии в продольных сечениях образцов.

Результаты и обсуждение. Оптические изображения микроструктуры сплава представлены на рисунке 1. Для экструдированного состояния по всей поверхности шлифа наблюдаются зерна основной фазы, магний, со средним размером 14 ± 7 мкм. При большом увеличении (рисунок 1б) видно, что структура состоит из двух типов структурных элементов: зерен со средним размером 14 ± 7 мкм, и более мелких зерен со средним размером 1 мкм, которые образуют «полосы» в продольном сечении. В случае рекристаллизованного состояния сплава микроструктура представлена равноосными зёрнами, имеющими средний размер 90 ± 50 мкм.

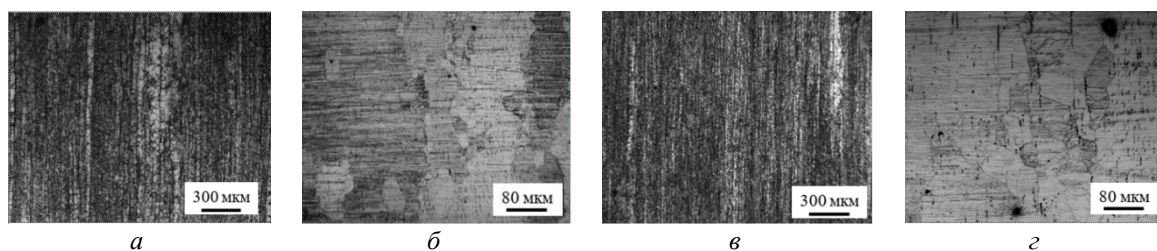


Рис. 1. Оптические изображения микроструктуры образцов сплава в экструдированном (а, б) и рекристаллизованном (в, г) состояниях в продольном сечении образцов

Рентгенограммы образцов сплава представлены на рисунке 2. Фазовый состав в двух состояниях представлен основной фазой, магний, и наноразмерной интерметаллидной фазой Mg_2Ca . Параметры решетки основной фазы магния в случае рекристаллизованного образца составили $a=0,32087$ нм и $c=0,52054$ нм, что несколько больше, чем справочные данные ($a=0,32029$ нм и $c=0,52000$ нм (Б.Д. COD от 21.01.22)). Более высокие значения параметра решетки можно связать с присутствием интерметаллидной фазы Mg_2Ca , которая искажает кристаллическую решетку фазы «Магний». В экструдированном состоянии параметры решетки уменьшаются и составляют $a=0,32072$ нм, $c=0,52046$ нм соответственно. Данное явление можно связать с деформацией экструзией основной фазы магния, которая уменьшает размер элементарной ячейки.

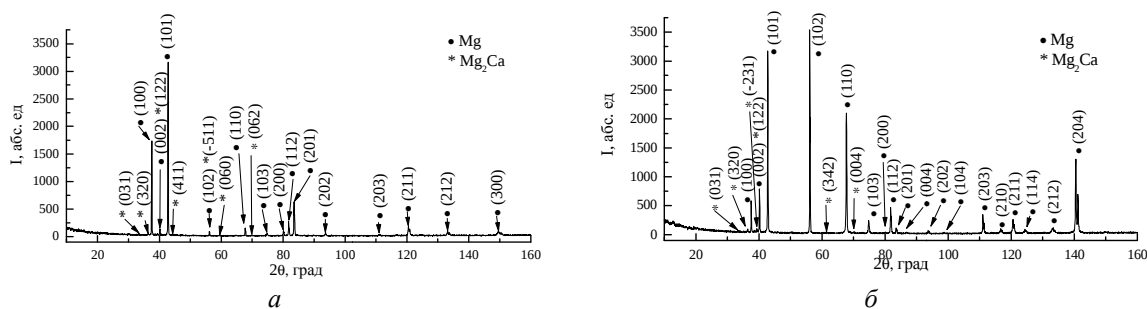


Рис.2. Рентгенограммы образцов сплава Mg-Ca в экструдированном (а) и рекристаллизованном (б) состояниях

Наличие интерметаллидной фазы было подтверждено методом просвечивающей электронной микроскопией. Изображения и микродифракции приведены на рисунке 3. При кристаллизации сплава размер интерметаллидной фазы увеличивается от 100 до 500 нм. Скалярная плотность дислокаций в экструдированном сплаве составила $\rho \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, дислокации образуют разориентированную субграницную структуру с многомерными непрерывными и дискретными разориентировками. Данное значение плотности дислокаций больше, чем у сплава в рекристаллизованном состоянии $\rho \approx 3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, здесь дислокации образуют однородную неразориентированную сетчатую субструктуру.

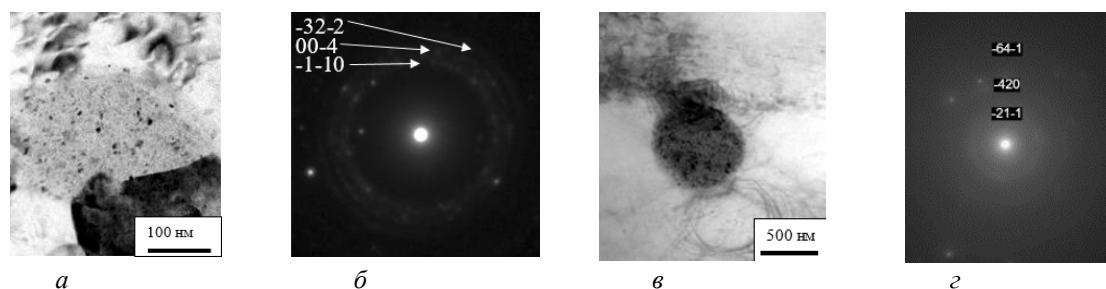


Рис.3. ПЭМ изображения интерметаллидных частиц Mg_2Ca в экструдированном (а – изображение, б – электроннограмма) и рекристаллизованном (в – изображение, г – электроннограмма) состояниях

В таблице 1 представлены механические характеристики сплава в экструдированном и рекристаллизованном состояниях. Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ экструдированного сплава равен 140 МПа, что в 2 выше, для рекристаллизованного состояния, 70 МПа. Предел прочности σ_B , равный 225 МПа, больше в 2,1 раза по сравнению с рекристаллизованным состоянием, $\sigma_B=107$ МПа. Различие в свойствах связано с особенностями микроструктуры [5]. «Полосы» из мелких зерен обеспечивают прочность сплаву, с другой стороны, более крупные зерна хорошо деформируются вдоль полос из мелких зерен. Данная бимодальная структура сплава, достигаемая с помощью пластической деформации, улучшает как прочностные, так и пластические свойства.

Таблица 1

Механические свойства образцов магниевых сплавов

Образец (состояние)	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	E , ГПа	HV , МПа
Mg-Ca (деформированное)	140	225	21	13	650
Mg-Ca (рекристаллизованное)	70	107	3	16	560

Заключение. Метод интенсивной пластической деформации повышает прочностные свойства сплава Mg-Ca в среднем в 2 раза, за счет образования бимодальной структуры по объему сплава, без качественного изменения фазового состава. Это позволит использовать сплав в экструдированном состоянии для изготовления несущих биорезорбируемых имплантатов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований РАН FWRW-2021-0004.

Список используемых источников:

1. Witte, F. Degradable biomaterials based on magnesium corrosion [Text] / F. Witte, N. Hort, C. Vogt // Current Opinion in Solid State and Materials Science. – 2008. – V. 12. – P. 63–72.
2. Lin, X. The in vitro degradation process and biocompatibility of a ZK60 magnesium alloy with a forsterite-containing micro-arc oxidation coating [Text] / X. Lin, L. Tan, Q. Zhang // Acta Biomaterialia. – 2013. – V. 9. – P. 8631.
3. Zheng, Y.F. Biodegradable metals [Text] / Y.F. Zheng, X.N. Gu, F. Witte // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2014. – V. 77. – P. 1–34.
4. Кулясова, О.Б. УМЗ структура и механические свойства магниевого сплава Mg-1%Ca [Текст] / О.Б. Кулясова, Я.В. Чернейкина, Р.К. Исламгалиев // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 25–30.
5. Zeng, Z. Magnesium extrusion alloys: a review of developments and prospects [Text] / Z. Zeng, N. Stanford, C. Davies // International Materials Reviews. – 2019. – V. 64. – P. 27–62

ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКЦИЙ РОТАЦИОННЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Т.Л. Евтушенко^{1,а} докторант, А.С. Янюшкин^{2,б} д.т.н., проф., А.Ж. Касенов^{3,в} к.т.н., проф.

¹ НАО «Торайгыров Университет», Республика Казахстан, 140008,
г. Павлодар, ул. Ломова 64, тел.: +7(705)987-19-72,

² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
Чувашская Республика, г. Чебоксары, 428015, Россия,

³ НАО «Торайгыров Университет», Республика Казахстан, 140008, г. Павлодар, ул. Ломова 64,
E-mail: ^аevtushenko_95@mail.ru, ^бyanyushkinas@mail.ru, ^вasylbek_kasenov@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные проблемы ротационных самовращающихся и принудительно вращающихся резцов, возникающие в процессе эксплуатации. Представлены причины узкого использования ротационных резцов по сравнению с обычными резцами при токарной обработке. Представлен обзор на различные варианты совершенствования конструкций для решения проблем в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: точение, токарная обработка, резец, самовращающийся резец, ротационный резец, безвершинный резец.

Abstract. This article discusses the main problems of rotary self-rotating and forced rotating cutters that arise during operation. The reasons for the narrow use of rotary cutters in comparison with conventional cutters in turning are presented. An overview of various options for improving designs to solve problems during operation is presented.

Keyword: turning, machining, cutter, self-rotating cutter, rotary cutter, peakless turning tool.

Токарная обработка в машиностроение – самый распространенный способ механической обработки, метод универсален и не требует особых затрат. Стандартный резец, применяемый при точении, имеет простую конструкцию, где самой слабой точкой является вершина резца, поскольку на ее площадь приходится наибольшая часть нагрузок как механических, так и температурных.

Одним из способов лишить инструмент этого слабого места стало применение вращающихся резцов. Источник [2] утверждает, что первые сведения об этом относятся еще ко второй половине XIX века. В 1901 г. был сконструирован чашечный резец с принудительным вращением для продольного точения. Резец со статическим углом наклона режущей кромки, равным нулю, устанавливался в плоскости центров обрабатываемой детали и приводился во вращение от ходового винта токарного станка. В 1914 г. был предложен первый самовращающийся резец для продольного обтачивания. Чашечный резец, установленный относительно оси детали под отрицательным статическим углом наклона режущей кромки, приводился во вращение трением, возникающим между резцом и деталью, со скоростью пропорциональной скорости резания.

Ротационные резцы имеют ряд преимуществ в отличие от обычных токарных резцов. Это увеличение периода стойкости режущей пластины, увеличение скорости резания, уменьшение температурных воздействий на режущую кромку за счет вращения режущей пластины, как и в самовращающихся экземплярах, так и в принудительно вращающихся.

Однако наряду со всеми плюсами имеется ряд проблем (рисунок 1), которые возникают уже не на этапе конструирования, а в процессе эксплуатации, которые и затормаживают их применение и сегодня, несмотря на все свои преимущества.



*Рис. 1. Пирамида основных проблем, возникающих
в процессе эксплуатации ротационных резцов*

Первая и основная проблема, из-за которой ротационные резцы до сих пор не получили широкое распространение, это подшипники. Наличие в конструкции вращения автоматически подразумевает наличие подшипников. И тут возникает дилемма: не используем подшипники (стандартные резцы) – быстро изнашивается режущая пластина инструмента, используем подшипники (ротационные резцы) – увеличиваем срок службы режущей пластины, но при этом изнашиваются сами подшипники, что в свою очередь увеличивает цену на эксплуатацию и ремонт самих инструментов.

Причина возникновения этой проблемы состоит в нагреве подшипников в процессе эксплуатации. Исследователи пытались увеличить срок службы как за счет подачи СОЖ (ротационно-фрикционная обработка), так и за счет различных комбинаций подшипников [3] (подшипники качения, подшипники скольжения, и даже по несколько видов одновременно). В последних исследованиях и вовсе начали использовать подшипники из различных современных материалов (антифрикционные металлокерамические сплавы на основе железа, графита, дисульфида молибдена, серы).

Вторая проблема также связана с наличием подшипников – это вибрация за счет биения в подшипниках. Разумеется, при жестком закреплении режущих пластин, такой проблемы не возникает, поэтому для большинства производителей это является еще одним плюсом для обычных резцов.

Эту проблему конструкторы пытались решить как с помощью различных виброгасителей, так и выбором подшипников скольжения вместо качения. Однако пока исследования не оправдались.

Третья проблема – стружка. За счет непрерывного резания стружку контролировать проблематично, есть большая вероятность возникновения сливной стружки. Конечно, есть возможность использовать прерывистое резание, но тогда возникает проблема с равномерным распределением нагрузки, что и являлось главной причиной перехода на вращающиеся резцы. Тогда исследователи предложили множество вариантов стружколомов и различных видов режущих пластинок с канавками и прорезями. Но это сильно усложняет конструкцию, что также влияет на себестоимость инструмента.

К тому же, отсюда вытекает и четвертая проблема – заклинивание. В процессе резания возникают ситуации, когда стружка (особенно при наличии стружколома) попадает в подшипник и происходит заклинивание вращения (наиболее важна эта проблема для инструментов с самовращением). Пути решения этой проблемы закрыть подшипники в конструкции, но тогда сложнее добираться СОЖ в эту зону.

Пятая проблема – круглые пластины подразумевают наличие определенного диаметра режущей пластины, что в свою очередь может ограничить зону обработки. Но тут наиболее легче подошли к этому вопросу – расположение режущей кромки в процессе резания не только вдоль обрабатываемой поверхности, но и поперек и под наклоном [5].

Разумеется, ротационное резание имеет достаточно большое количество недостатков, и вышепредставленные не являются единственными и характерными для всех ротационных резцов. Однако наряду с этим имеет и множество достоинств, которые могли бы поднять токарную обработку на ступень выше. Современные исследователи все больше и больше учитывают все эти недостатки в своих конструкциях, пытаясь сделать ротационное резание таким же распространенным, как и стандартное точение. Несмотря на всё это, ротационные резцы всё еще требуют дополнительных исследований, в частности не только представления очередной новой конструкции ротационного резца на бумаге, но и проверки их в процессе эксплуатации.

Исследования выполнены в рамках грантового финансирования молодых ученых на 2021-2023 годы по проекту ИРН АР09058231 «Исследование и проектирование ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки МОН РК.

Список используемых источников:

1. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание металлов. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 229 с.
2. Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. Резание металлов самовращающимися резцами М., «Машиностроение», 1972, 112 с.
3. Шеров К.Т., Доненбаев Б.С., Сагитов А.А., Габдысалык Р.Г., Бузауова Т.М., Айнабекова С.С., Тусупова С.О., Серикбай А.Т. Исследование конструкции подшипникового узла ротационных инструментов. / Журнал "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований". - 2018. - № 8. 16-20 С.
4. Евтушенко Т.Л., Мусина Ж.К. Особенности конструкций резцов с круглой чашечной пластиной / Материалы международной научно-практической конференции «XI Торайгыровские чтения», 5 том – Павлодар : ПГУ имени С.Торайгырова. – 2019 г., 118-124 С.
5. Евтушенко Т.Л., Мусина Ж.К. Исследование процесса резания резцами с вращающимися круглыми пластинками / Материалы международной научно-практической конференции «I Юбилейные чтения Бойко Ф.К.», 2 том – Павлодар : ПГУ имени С.Торайгырова. – 2020 г., 328-333 С.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА 5-КООРДИНАТНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ

*П.О. Черданцев^а, к.т.н., доцент, А.О. Черданцев^б, О.Е. Животикова^в, студент,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038,
г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. +7 (385-2) 29-07-06
E-mail: p004092@mail.ru^а, hypertigr@mail.ru^б, zhivotikova@outlook.com^в*

Аннотация. Рассмотрена принципиальная возможность выполнения зубофрезерной операции на 5-координатном обрабатывающем центре. Изложена методика проектирования технологической наладки. Описана последовательность определения необходимых параметров. Приведён пример автоматизированной разработки управляющей программы.

Ключевые слова: обрабатывающий центр, зубофрезерование, технологическая наладка, зубчатые колёса.

Abstract. The principal possibility of performing a gear milling operation on a 5-coordinate machining center is considered. The method of designing technological adjustment is described. The sequence of determining the necessary parameters is described. An example of automated development of a control program is given.

Keywords: machining center, gear milling, technological adjustment, gear wheels.

Введение

В настоящее время для машиностроения характерна тенденция к выполнению различных операций – токарных, сверлильных, фрезерных, резьбонарезных – на одном рабочем месте. В частности, этому способствует широкое внедрение 5-координатных обрабатывающих центров, причём не только на крупных заводах, но и на малых предприятиях. Такой подход прежде всего применим к обработке валов, дисков и корпусных деталей.

Во многих машинах и механизмах имеются зубчатые передачи, в которых используются эвольвентные цилиндрические зубчатые колёса и валы-шестерни. Одним из основных методов обра-

ботки зубчатых колес является метод обкатки, реализуемый в частности при нарезании зубьев червячной фрезой на зубофрезерном станке.

При обработке на зубофрезерном станке червячная фреза и обрабатываемое колесо через шкивы и систему зубчатых и червячных передач получают от электродвигателя кинематически согласованные друг с другом вращательные движения, а также движение подачи. Угловая скорость фрезы относится к угловой скорости стола станка с установленной заготовкой как число зубьев колеса делённое на число заходов червячной фрезы относится к единице.

Представляется перспективным расширить технологические возможности 5-координатного обрабатывающего центра, обеспечив выполнение на нем зубофрезерной операции за счет согласования вращательных движений фрезы и заготовки колеса, а также линейного движения подачи.

Основная часть

Для реализации нарезания зубчатых колёс методом обкатки на 5-координатных обрабатывающих центрах требуется решить ряд задач:

- произвести анализ наладки при зубофрезеровании на классическом оборудовании;
- математически описать кинематику процесса резания;
- разработать наладку для обрабатывающего центра, обеспечивающую взаимное позиционирование заготовки и червячной фрезы согласно расчётам;
- составить управляющую программу;
- выполнить анализ и/или корректировку результатов исследования;
- осуществить оформление результатов в виде методических рекомендаций по проектированию зубофрезерной операции на обрабатывающих центрах.

Предполагается следующий общий подход к проектированию зубофрезерной операции для обрабатывающего центра. Инструмент (оправка с червячной фрезой) устанавливается в шпиндель и получает вращательное движение, осуществляемое вокруг оси Z станка. Кроме того, благодаря перемещению линейно по оси Z инструмент устанавливается в необходимое положение относительно заготовки. Перемещением по координатам X и Y обеспечивается необходимое положение заготовки в рабочем пространстве станка. Заготовка зубчатого колеса устанавливается на поворотном столе на оправке. Вращение заготовки осуществляется посредством вращения поворотного стола вокруг оси C, частота вращения заготовки должна быть согласована с частотой вращения фрезы. Кроме того, поворотом стола вокруг оси A обеспечивается требуемое положение заготовки относительно червячной фрезы с учётом угла наклона канавок фрезы. Таким образом, по сути, воспроизводится кинематика зубофрезерного станка с той лишь разницей, что согласование движений обеспечивается не механическими передачами а системой ЧПУ станка.

Режимы резания и размеры, необходимые для наладки станка, выбраны согласно рекомендациям [1]. Исходные данные для расчета кинематики зубофрезерования:

Параметры фрезы:

- Модуль – $m=1,25$ мм.
- Диаметр окружности вершин фрезы после переточки – $d_{a0}=62$ мм.
- Угол наклона витков – $\gamma_{m0}=1^{\circ}13'$.
- Число стружечных канавок – $z_0=12$ шт.
- Ширина буртика фрезы – $l=4$ мм.

Параметры колеса:

- Число зубьев колеса – $z=54$ мм.
- Ширина зубчатого венца – $b=15$ мм.
- Режимы резания:
- Подача на оборот стола – $S=1$ мм/об.ст.
- Скорость резания – $V=45$ м/мин.

Параметры наладки:

- размер оправки, определяющий расстояние между базовым торцом заготовки и осью вращения A поворотного стола – $a=186,069$ мм.

При этом при проведении расчетов были сделаны допущения:

1. Колесо нулевое (без смещения).
2. Фреза однозаходная.

3. Зубья колеса нормальной высоты ($h_a^*=1$, $h_f^*=1,25$), где h_a^* – коэффициент высоты головки зуба, h_f^* – коэффициент высоты ножки зуба.
4. Колесо прямозубое, $\beta=0^\circ$.
5. Фреза новая, осевых передвижек не проводилось.
6. Ширину зоны неполнопрофильных зубьев (принимают (от 1 до 1,5) модулей) назначаем $l_1=1,5m$.
7. Смещением по Z из-за наклона на угол γ_{m0} по оси A пренебрегаем.
8. Фрезерование чистовое, по сплошному материалу.

Таким образом, последовательно рассчитывались следующие параметры:

1. Диаметр вершин колеса (диаметр цилиндрической заготовки):

$$d_a = m^*(z+2)$$

$$d_a = 1,25*(54+2) = 70 \text{ мм};$$

2. Координата Y_w для рабочего хода:

$$Y_w = 0,5*(d_a + d_{a0}) - h,$$

где h – высота зуба колеса

$$h = (h_a^* + h_f^*) * m;$$

$h = 2,25*m$ – согласно допущению 3 (см. выше)

$$h = 2,25*1,25 = 2,8125 \text{ мм}$$

$$Y_w = 0,5*(70+62) - 2,8125 = 63,188 \text{ мм};$$

3. Параметр установки фрезы с:

$c = l + l_1 + b_e$, где b_e – ширина входной части рабочей зоны фрезы

$$b_e = f(z; \beta)$$

$\beta=0$ – согласно допущению 4 (см. выше)

По справочнику [1] для $z=54$

Назначаем $b_e = 1,5*\pi*m$

$$b_e = 1,5*\pi*1,25 = 5,89 \text{ мм}.$$

$l_1 = 1,5*m$ – согласно допущению 6 (см. выше)

$$l_1 = 1,5*1,25 = 1,875 \text{ мм}.$$

$$c = 4 + 1,875 + 5,89 = 11,765 \text{ мм};$$

4. Координата Z_w для рабочего хода:

$$Z_w = -(a + b + c)$$

$$Z_w = -(186,069 + 15 + 11,765) = 11,765 \text{ мм};$$

5. Угловая координата A_w для ориентации заготовки по оси A:

$$A_w = -90 - \gamma_{m0}$$

$$A_w = -90 - 1,217 = -91,217^\circ;$$

6. Длина врезания e [1]:

$$e = \left(\sqrt{h^*(d_{a0} - h)} \right).$$

$$e = \left(\sqrt{2,8125*(62 - 2,8125)} \right) = 12,902 \text{ мм};$$

7. Длина перебега e_1 (принимаем в интервале (3...5) мм, таким образом, чтобы длина рабочего хода была целым числом):

$$e_1 = 4,098 \text{ мм};$$

8. Довжина робочого ходу d_x :

$$d_x = e + b + e_1$$

$$d_x = 12,902 + 15 + 4,098 = 32 \text{ мм};$$

9. Координата X_w для робочого ходу:

$$X_w = -(a + b + e)$$

$$X_w = -(186,069 + 15 + 12,902) = -213,971 \text{ мм};$$

10. Частота обертання інструмента n_0 :

$$n_0 = \frac{1000 * V}{* d_{a0}}$$

$$n_0 = \frac{1000 * 45}{* 62} = 231 \text{ об/мин} - \text{округляємо до цілого};$$

11. Частота обертання стола n_1 :

$$n_1 = \frac{n_0}{z}$$

$$n_1 = \frac{231}{54} = 4,27(7) \text{ об/мин};$$

12. Подача f_c :

$$f_c = n_0 * 360^\circ$$

$$f_c = 4,27(7) * 360^\circ = 1540 \text{ град/мин};$$

13. Подача f_x :

$$f_c = n_1 * S$$

$$f_c = 4,27(7) * 1 = 4,27(7) \text{ мм/мин};$$

14. Час робочого ходу (час кадру) t :

$$t = \frac{d_x}{f_x}$$

$$t = \frac{32}{4,27} = 7,48051948 \text{ мин};$$

15. Переміщення (поворот) по осі С d_c :

$$d_c = t * f_c$$

$$d_c = 7,48051948 * 1540 = 11520 \text{ шт.};$$

16. Переміщення в кадрі d :

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_c^2}$$

$$d = \sqrt{32^2 + 1152^2} = 11520,04444436$$

17. Подача в кадрі f :

$$f = \frac{d}{t}$$

$$f = \frac{11520,04444436}{7,48051948} = 1540,00594145.$$

Полученные результаты расчетов по приведенной методике используются для наладки и при написании управляющей программы для обрабатывающего центра.

Результаты и обсуждения

Нами была разработана программа (рисунок 1), осуществляющая расчеты согласно изложенной методике, что снижает риск ошибок, в том числе ошибок округления, значительно сокращает время на проводимые расчёты.

Рис. 1. Экранная форма с примером управляющей программы для стойки ЧПУ

По результатам расчётов была спроектирована технологическая наладка для зубофрезерной операции, которая будет осуществляться на фрезерном обрабатывающем центре VMC-750 (рисунок 2).



Рис. 2. Пример технологической наладки для зубофрезерной операции на 5 – координатном станке VMC-750

Выводы

Разработанная и автоматизированная методика проектирования технологической наладки и управляющей программы для зубофрезерной операции безусловно нуждается в проверке на практике. Однако изложенные выше результаты позволяют рассчитывать на успешную реализацию процесса нарезания эвольвентных зубчатых колёс на 5-координатном обрабатывающем центре.

Список используемых источников:

1. Сильвестров, Б. Н. Справочник молодого зуборезчика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988 – 320 с.: ил.

АНТИКОРРОЗИОННОЕ КЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ МА2-1ПЧ

М.Б. Седельникова¹, доцент, д.т.н., А.Д. Кашин^{1,а}, аспирант

¹Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук,

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

E-mail: ^akash@ispms.ru, Томск, 634055 Россия

Аннотация. Приведены результаты по разработке нового защитного покрытия для изделий из магниевого сплава (МА2-1 пч) и исследованию его физико-химических свойств. Покрытие синтезировали методом микродугового оксидирования, в анодном потенциостатическом режиме, при варьировании напряжения процесса в диапазоне 350–500 В. В состав электролита вводили диатомит – кремнистую породу биогенного происхождения. Исследование морфологии, структуры и свойств покрытия показали преимущество его использования для модификации поверхности сплава МА2 1пч.

Ключевые слова: Керамическое покрытие, Mg сплав, микродуговое оксидирование, диатомит.

Abstract. The results of the development of a new protective coating for products made of magnesium alloy (MA2 1 pm) and the study of its physico-chemical properties are presented. The coating was synthesized by microarc oxidation, in the anode potentiostatic mode, with varying process voltage in the range of 350-500 V. Diatomite, a siliceous rock of biogenic origin, was introduced into the electrolyte. The study of the morphology, structure and properties of the coating showed the advantage of using it to modify the surface of the MA2 1hr alloy.

Keyword: Ceramic coating, Mg alloy, micro-arc oxidation, diatomite.

Введение

В последнее время все большее внимание уделяется магниевым сплавам в качестве материалов для применения в аэрокосмической, автомобильной и электронной промышленности. Магний и его сплавы обладают рядом преимуществ, среди которых можно выделить низкую плотность, высокое соотношение прочности к весу и широкую доступность [1]. Однако магний представляет собой материал, степень электрохимической активности которого слишком высока, поэтому он (как и его сплавы) обладает очень слабой износостойкостью и коррозионной стойкостью [2,3]. Это может приводить к быстрому разрушению изделия при работе в коррозионно-агрессивной среде.

Одним из эффективных способов решения данной проблемы является модификация поверхности металлической подложки с помощью защитного керамического покрытия. Такое покрытие защищает изделие из магния от агрессивного воздействия коррозионной среды. Существует множество различных методов нанесения покрытий, однако метод микродугового оксидирования (МДО) является одним из наиболее перспективных и экономически целесообразных способов модификации поверхности вентильных металлов и сплавов [4]. Такие покрытия обладают отличными механическими свойствами и стойкостью к коррозии.

Процесс МДО осуществляется посредством микродуговых разрядов, развивающихся под воздействием сильного электрического поля. Материалы подложки, оксидного слоя и электролита в зоне электрического пробоя переходят в плазменное состояние и взаимодействуют друг с другом, в результате чего образуется диэлектрическое керамическое покрытие [5]. Добавление микрочастиц тугоплавких оксидов в суспензию электролита является перспективным методом модифицирования состава и микроструктуры микродуговых покрытий на магниевых сплавах [6]. В настоящей работе для данных целей был использован диатомит – осадочная порода биогенного происхождения, состоящая, в основном, из скелетов диатомовых водорослей, представляющий собой аморфный оксид кремния.

Основной целью данного исследования является синтез нового защитного керамического покрытия на основе диатомита для изделий из магниевого сплава МА2-1пч методом МДО, изучение структуры, физико-химических и механических свойств полученного покрытия.

Основная часть

В качестве материала подложки использовали магниевый сплав МА2-1пч. Методом электроэрозионной резки были получены образцы с размерами $10 \times 10 \times 1$ мм. Покрытия наносили методом МДО при импульсном напряжении в диапазоне от 350 до 500 В с шагом в 50 В. В состав электролита, используемого для нанесения покрытия, вводили растворимые вещества, такие как гидроксид натрия, силикат натрия и фторид натрия, а также порошок диатомита.

Основной целью исследовательской работы было создание нового защитного керамического покрытия для различных изделий и элементов конструкций из магния. Сравнивая покрытия, полученные при минимальном (350 В) и максимальном (500 В) напряжениях процесса МДО, было установлено, что толщина покрытий увеличивалась от 28 мкм до 154 мкм, то есть примерно в 5 раз. Шероховатость поверхности покрытий по параметру Ra также увеличилась от 6 мкм до 12 мкм, при тех же напряжениях. Это можно объяснить более высокой интенсивностью микродуговых разрядов, реализующихся на поверхности образцов сплава МА2-1пч при более высоких напряжениях, в результате чего повышается скорость роста покрытия в процессе МДО.

Исследование морфологии поверхности покрытий методом растровой электронной микроскопии (РЭМ, LEO EVO 50, Carl Zeiss, Германия) в ЦКП "Нанотех» ИФПМ СО РАН (Томск, Россия), показало, что покрытия являются пористыми. Кроме того, на их поверхности присутствуют остатки скелетов диатомовых водорослей (рис. 1а). В предыдущих исследованиях по получению МДО-покрытий в электролитах, содержащих микрочастицы фосфатов кальция, были получены подобные структуры пористых покрытий с частицами на поверхности [7]. В представленных исследованиях было установлено, что покрытия содержат большое количество мелких пор (≤ 1 мкм). Их размер и расположение указывают на то, что они образовались в результате частичного расплавления пористых скелетов диатомей.

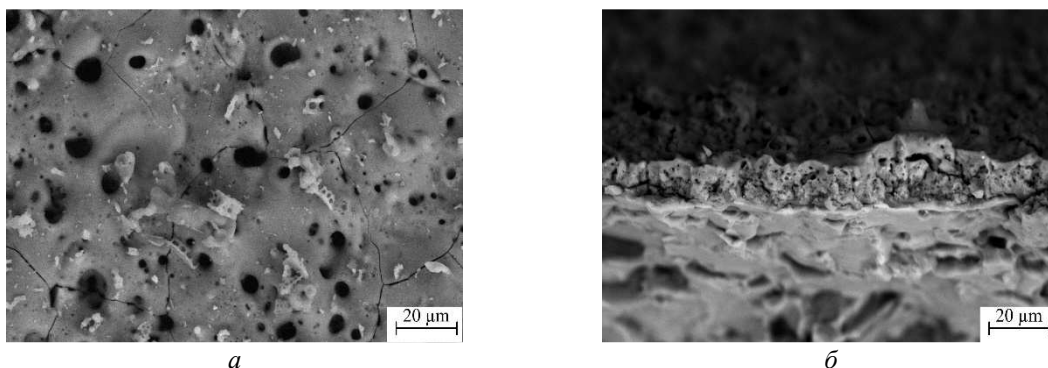


Рис. 1. РЭМ изображения поверхности (а) и поперечного сечения (б) покрытия, синтезированного при 400 В

Исследование структуры поперечного сечения покрытий (рис. 1б), показало, что они имеют градиентную пористую структуру: более мелкие поры находятся вблизи магневой подложки, что вызвано самой высокой плотностью тока на начальной стадии процесса нанесения покрытия, в то время как поры большего размера располагаются вблизи поверхности покрытия. По мере увеличения напряжения МДО все более отчетливо проявлялось явление коалесценции – процесса слияния мелких пор в более крупные, однако, при этом общая пористость покрытий снижалась. Методом скретч-теста были выявлены повышение адгезионной прочности покрытий при увеличении напряжения процесса МДО. Так, покрытия, нанесенные при напряжениях 350 и 500 В характеризовались значениями разрушающей нагрузки, равными 6 и 10 Н, соответственно. Более высокую адгезионную прочность покрытия, сформированного при напряжении 500 В, можно объяснить его большей толщиной и меньшей пористостью. В ходе анализа фазового состава покрытий на основе диатомита (ДРОН-7, Буревестник, Россия, ЦКП "Нанотех» ИФПМ СО РАН) было установлено образование форстерита в процессе МДО, в результате взаимодействия компонентов электролита и магневой подложки.

Анализ электрохимических характеристик керамических покрытий показал, что стойкость покрытых образцов к воздействию коррозионной среды увеличилась на 2–3 порядка относительно исходного сплава МА2-1пч. Отдельно следует отметить, что наибольшей устойчивостью к коррозии обладали образцы с покрытиями, нанесенными при напряжениях 400 и 500 В. Ток коррозии и сопротивление коррозии покрытия, сформированного при напряжении 500 В, составляли $7,59 \times 10^{-8}$ А/см² и $6,79 \times 10^5$ Ом/см², что объясняется наибольшей толщиной покрытия и образованием форстерита.

Заключение

С помощью метода микродугового оксидирования было создано защитное антикоррозионное керамическое покрытие на основе диатомита для изделий и конструкций из магния и его сплавов. Было установлено, что при повышении напряжения процесса МДО до 500 В толщина, шероховатость и адгезионная прочность покрытий увеличиваются до 154 мкм, 12 мкм и 10 Н, соответственно. Коррозионная стойкость образца с покрытием на 2–3 порядка выше, чем исходного образца сплава МА2-1пч.

Работа выполнена в соответствии с Государственным исследовательским заданием для ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0007.

Список используемых источников:

1. Hu R. G. et al. Recent progress in corrosion protection of magnesium alloys by organic coatings //Progress in Organic Coatings. – 2012. – Т. 73. – №. 2-3. – С. 129-141. doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.10.011.
2. Ramalingam V. V. et al. Research and development in magnesium alloys for industrial and biomedical applications: a review //Metals and Materials International. – 2020. – Т. 26. – №. 4. – С. 409-430. doi:10.1007/s12540-019-00346-8.
3. Li Q., Zhang Q., An M. Enhanced corrosion and wear resistance of AZ31 magnesium alloy in simulated body fluid via electrodeposition of nanocrystalline zinc //Materialia. – 2018. – Т. 4. – С. 282-286. doi:10.1016/j.mtl.2018.09.038.
4. Darband G. B. et al. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications //Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. – Т. 5. – №. 1. – С. 74-132. doi:10.1016/j.jma.2017.02.004.
5. Simchen F. et al. Introduction to plasma electrolytic oxidation—An overview of the process and applications //Coatings. – 2020. – Т. 10. – №. 7. – С. 628. doi:10.3390/coatings10070628.
6. Fattah-alhosseini A., Chaharmahali R., Babaei K. Effect of particles addition to solution of plasma electrolytic oxidation (PEO) on the properties of PEO coatings formed on magnesium and its alloys: A review //Journal of Magnesium and Alloys. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 799-818. doi:10.1016/j.jma.2020.05.001.
7. Sedelnikova M. B. et al. Additively manufactured porous titanium 3D-scaffolds with antibacterial Zn-, Ag-calcium phosphate biocoatings //Materials Characterization. – 2022. – Т. 186. – С. 111782. doi:10.1016/j.matchar.2022.111782.

НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БУРОВЫХ ДОЛОТ

*А.А. Мартюшова, аспирант гр. АМАШ-19-ГОТуМ, В.У. Мнацаканян, д.т.н., профессор
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4
E-mail: "nastya.martyushova@mail.ru*

Аннотация. В статье представлен анализ конструктивных особенностей буровых долот и их применение в зависимости от горно-геологических условий, а также обозначены актуальные направления исследования в области совершенствования конструкции и технологии производства породоразрушающего инструмента.

Ключевые слова: буровые долота, конструкция, принцип работы, направления модернизации

Abstract. The article presents an analysis of the design features of drill bits and their application depending on mining and geological conditions, and also identifies current research areas in the field of improving the design and technology of production of rock-breaking tools.

Keywords: drill bits, design, principle of operation, directions of modernization

Долото с давних времен является главным инструментом для разрушения различной степени крепости горных пород. Бурение скважин при освоении месторождений и добыче полезных ископаемых является одним из сложных и капиталоемких технологических процессов. В связи с этим во все времена были и остаются актуальными задачи повышения ресурса породоразрушающего инструмента и эффективности их использования. Последнее определяет необходимость совершенствования и модернизации существующих видов долот, разработки новых подходов к их конструированию и технологии производства.

В настоящее время в зависимости от области применения буровое долото принято различать по форме рабочей части инструмента и виду вооружения:

- шарошечные долота, используют в основном для бурения нефтяных и газовых скважин (рис. 1 а);
- лопастные долота, применяются для бурения мягких и среднетвердых пород (рис. 1 б);
- алмазные долота, используют для бурения различных по твердости пород (рис. 1 в);
- фрезерные долота, также, как и шарошечные, используется для бурения нефтяных, газовых скважин, при этом чаще используются как вспомогательный инструмент (рис. 1 г).

Наиболее универсальным инструментом в бурении пород являются шарошечные долота. Формирование скважины определенного диаметра создается за счет вращения шарошек, дробящих породу [2]. Конструкция инструмента до сих пор модернизируется, но остается сложной, поскольку его базирующей частью являются подшипники. Вращающиеся шарошки, имеющие форму конусов или цилиндров, закрепляются к секциям, которые между собой свариваются. Форма и расположение шарошек выбрана таким образом, чтобы осуществлять при бурении как ударное, так и ударно-сдвигающее действие.

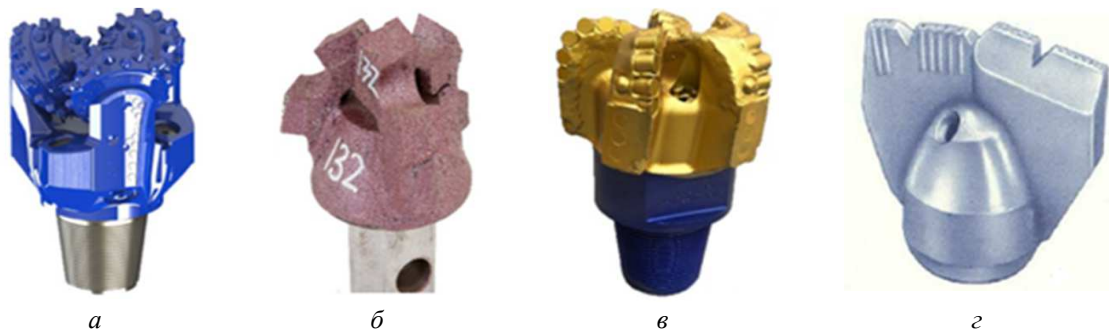


Рис. 1. Буровые инструменты: а – шарошечное долото, б – лопастное долото, в – алмазное долото, г – фрезерное долото

В процессе работы шарошечного долота проскальзывание шарошек позволяет получить дополнительное скалывание, которое в свою очередь эффективно влияет на породоразрушение.

Количество шарошек определяется областью применения данного инструмента, так, например, одношарошечное долото используется для бурения скважин на большую глубину, двухшарошечное – в геологоразведочных работах, четырехшарошечное применяется для бурения в сложных условиях. Виды шарошечных долот не имеют четкой градации по области применения.

Лопастные долота (рис. 1, б) имеют простую конструкцию. Долото представляет собой корпус, к которому жестко закреплены лопасти, количество которых может быть различным. Лопастное долото целесообразно использовать в мягких и довольно рыхлых породах. В благоприятных условиях, данный инструмент может работать на высоких скоростях, и тем самым повышать эффективность бурения. К примеру, можно пробурить скважину глубиной 1500 метров за одну проходку [1].

Лопастные долота классифицируют по количеству лопастей на одно-, двух-, трех- и шестилопастные. Однолопастные долота используют для бурения цементных пробок, трехлопастной инструмент обладает истирающе-режущим действием.

Чтобы увеличить срок службы инструмента лопасти долота армируют. Процесс армирования уменьшает разрушающее воздействие пород и позволяет получить наиболее ровные, гладкие стенки скважины.

Начиная бурение, не всегда можно предугадать какие включения и пласты пород появятся в месте скважины, и этот процесс можно регулировать с помощью алмазных долот, которые находят

все большую популярность среди бурового инструмента. Особенность конструкции и материал изготовления алмазных долот дает ряд преимуществ по сравнению с другим буровым инструментом.

Конструкция алмазного долота представляет собой сложную технологическую систему, состоящую из следующих основных элементов: резцы, корпус долота, ниппель. Основой любого инструмента является режущая часть, которая в алмазном долоте представляет собой вставки из алмазов. Величина используемых алмазов и качество их изготовления напрямую влияют на результативность породоразрушения. В зависимости от назначения и эксплуатационных характеристик, режущие элементы могут располагаться на корпусе долота в один, два или три слоя, при этом позиционирование резцов относительно оси инструмента может быть выполнено в трех исполнениях: радиально, спирально, ступенчато.

Эксплуатация алмазного долота имеет ряд недостатков, так к примеру, в процессе бурения могут возникать различные металлические включения, которые могут повредить целостность режущей кромки, либо привести к выпадению резца из корпуса инструмента. Также на эффективность породоразрушения алмазного долота может влиять несоответствующая условиям использования промывка инструмента и рабочей области скважины.

Фрезерное долото можно считать самым простым по конструкции, более прочным и устойчивым. Основой инструмента является монолитный корпус, в который запрессованы дробящие части, обеспечивающие ему колоссальную эффективность особенно при проходке твердых пород или пластов с металлическими включениями.

Фрезерное долото часто используют для пробивки бетонной пробки. Вместе с тем они обладают рядом ограничений и недостатков, в частности, не используются при проходке вязких пород, характеризуются небольшой скоростью проходки, конструкция инструмента предполагает достаточно простой способ промывки. Но даже с учетом всех минусов, данный инструмент незаменим для бурения скважин и часто используется как вспомогательный инструмент [3].

Из приведенного анализа следует, что конструкция породоразрушающего инструмента во многом обеспечивает стабильность и производительность процесса бурения, а также ресурс инструмента. Поэтому актуальные вопросы, касающиеся эксплуатационных и конструктивных характеристик бурового инструмента, носят практический и научный характер.

В области модернизации конструкции долот приоритетными являются:

- исследования инструмента в процессе выработки сплошным забоем исключая выемку буровой колонны;
- исследования по оптимизации конструктивных особенностей бурового инструмента;
- исследования повышения качества и эксплуатационной составляющей систем очистки буровых систем;
- исследования в области материаловедения и технологии производства бурового инструмента, а именно повышение качества изготовления сборки, а также изготовления отдельных элементов [4, 5].

Таким образом, развитие исследований в направлении модернизации породоразрушающего инструмента позволят существенно увеличить долговечность и производительность бурового инструмента, сократить длительность производственного цикла и издержки затрат на бурение.

Список используемых источников:

1. Балаба В.И., Бикбулатов Н.К., Вышегородцева Г.Н. и др. Буровой породоразрушающий инструмент Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2013, 251 с.: ил.
2. Марамзин А. В., Блинов Г. А. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые. Технология работ. Л., «Недра», 1977. 248 с.
3. Воздвиженский Б. И., Мельничук И. П., Пешалов Ю. А. Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. М., «Недра», 1973, 240 с.
4. Богомолов Р.М., Носов Н.В. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений (1914-2014 гг.). Первая часть. М: Инновационное Машиностроение, 2015. – 400с.
5. Богомолов Р.М., Носов Н.В. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений (1914-2014 гг.). Вторая часть. М: Инновационное Машиностроение, 2015. – 427с.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИШЕНИ ДЛЯ ВЧ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ИЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ Cu-W

К.А. Просолов^{1,а}, к.ф.-м.н., К.В. Сулиз^{1,2}, аспирант, Ю.П. Шаркеев¹, профессор, д.ф.-м.н.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055,

г. Томск, пр. Академический, 8/3

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: ^аkonstprosolv@gmail.com

Аннотация. Формирование износостойких покрытий методами вакуумного напыления остается актуальной задачей в области материаловедения. Покрытия на основе тугоплавких соединений переходных металлов представляются перспективными для применения в качестве не только износостойких, но и коррозионностойких, а также антибактериальных материалов. В работе отражены технологические подходы к формированию мишени для ВЧ магнетронного распыления путем консолидации порошков металлов на основе системы Cu-W, полученных совместным электрическим взрывом двух проволок.

Ключевые слова: биметаллические частицы, несмешивающиеся металлы, износостойкие покрытия, ВЧ магнетронное распыление.

Abstract. The formation of wear-resistant coatings by vacuum spraying methods remains an urgent task in the field of materials science. Coatings based on refractory compounds of transition metals are promising for use as not only wear-resistant, but also corrosion-resistant, as well as antibacterial materials. The paper reflects technological approaches to the formation of a target for RF magnetron sputtering by consolidating metal powders based on the Cu-W system obtained by a joint electric explosion of two wires.

Keyword: bimetallic particles, immiscible metals, wear-resistant coatings, RF magnetron sputtering.

Введение

Плёнки тугоплавких соединений переходных металлов Периодической системы, а также алмазоподобные плёнки в настоящее время активно исследуются, так как являются перспективными кандидатами для решения проблемы функционализации поверхности [1]. В последнее время отмечается повышенный интерес к мультифункциональным покрытиям на основе наноразмерных систем Cu-W, которые применяются в фотокатализе, микроэлектронике, в качестве газовых сенсоров и биоразлагаемых материалов с антимикробными свойствами. Применение покрытий на основе систем Cu-W в области медицины остается малоизученным, хотя в современных исследованиях, выполненных представителями зарубежных научных школ отмечаются антибактериальные свойства оксида вольфрама (WO_{3-x}) и оксида вольфрама допированного медью. В известных из литературы работах такие покрытия получают осаждением из плазмы магнетронного разряда с использованием дуальной системы, что значительно удорожает стоимость медицинского изделия функционализированного таким способом. Использование пар мишеней, выполненных из чистых Cu и W в дуальной магнетронной распылительной системе – вынужденная мера, что вызвано существующей проблемой однородного смешения несмешивающихся металлических компонент. Изготовление мишеней системы Cu-W, до сих пор является вызовом для ученых и технологов [2]. Среди способов осаждения покрытий, метод ВЧ-магнетронного распыления является одним из самых высокотехнологичных и позволяет контролировать формирования пленок в широком диапазоне свойств [3]. Метод занимает лидирующее место среди способов нанесения покрытий конденсацией из паровой фазы [4]. Так, удастся синтезировать наноструктуры различного размера и формы с регулируемой поверхностной плотностью и желаемыми геометрическими параметрами. Данный эффект связывают с фокусировкой ионных потоков, поступающих на подложку [5]. Основным преимуществом метода является возможность сохранения состава покрытий при ВЧ-магнетронном распылении многокомпонентных мишеней, что является, несомненно, важным для биомедицинских целей. Кроме того, низкая температура разогрева материала подложки в процессе напыления позволяет наносить покрытия на различные полимеры и материалы на основе органических соединений [6].

Целью настоящей работы было определить технологические подходы к формированию ВЧ магнетронной мишени на основе несмешивающихся металлов системы Cu-W.

Материалы и методика эксперимента. Для получения порошка из несмешивающихся металлов системы Cu-W через переплетенные проволоки металлов Cu и W пропускали сильнотоочный импульс, генерируемый RLC контуром. Диаметры проволок соответствовали составу Cu-10 мас. %W. Формирование мишеней проводилось при одноосным прессованием в стальных формах на гидравлическом прессе

МИС-6000.4К (г. Армавир, Россия). Спекание порошков проводилось в вакууме при температуре 700 °С. Фазовый состав мишени определяли методом рентгенофазового анализа с использованием *СоК α* -излучения (ДРОН-07, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Поверхность мишени контролировали с помощью инвертированного универсального микроскопа Zeiss AxioVert 200M. Для проведения экспериментов по осаждению покрытий были подготовлены подложки в виде образцов – металлические пластинки размером 10×10×1 мм из титана (ВТ1-0). Для осаждения покрытий используется вакуумная магнетронная распылительная система с генератором ВЧ сигнала, работающего на частоте 13,56 МГц.

Результаты и их обсуждение. Путем электрического взрыва проволок из *Си* и *W* был получен порошок. Анализ морфологии и дисперсности порошка говорит о том, что в ходе электровзрыва сформированы частицы различного размера как в нано-, так и микрометрового размера. При взрыве вольфрамовой проволоки образуются субмикронные капли вольфрама, в то время как для меди размер таких частиц значительно меньше. Распределение частиц по размерам связано с двумя механизмами формирования, во-первых, дисперсия капельной фракции вольфрама, а во-вторых, коагуляция кластеров в ходе конденсации. Таким образом, порошок из несмешивающихся металлов системы *Си-W* представлен биметаллическими частицами *Си* и *W*. Биметаллические частицы образованы путем столкновения и диффузии двух разнородных элементов. Механизм формирования таких порошков детально описан в предыдущей публикации [7].

Экспериментально установлен режим получения мишени для ВЧ магнетронного распыления путем компактирования порошков *Си-W* методом одноосного прессования с предельной нагрузкой 70 МПа с последующим синтезом в вакууме при температуре, не превышающей 700 °С. Мишень для ВЧ магнетронного распыления после синтеза имела размеры 115 мм в диаметре и толщиной 4,5 мм. Путем механической обработки граней мишени и ее поверхности, задан требуемый для магнетрона размер рабочей области -110 мм в диаметре и произведена очистка оксидного слоя поверхности, сформированного после синтеза. На рисунке 1 представлена поверхность мишени.

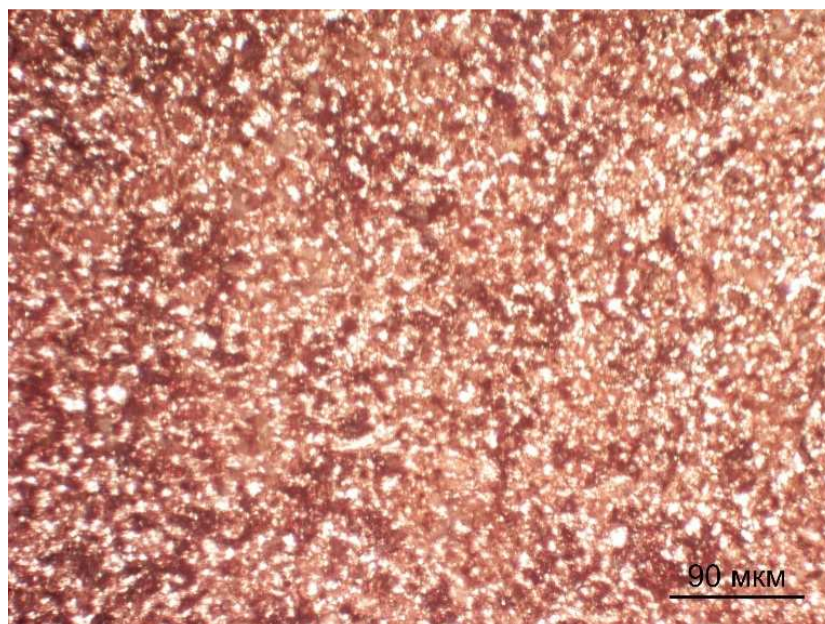


Рис. 1. Поверхность мишени из порошка *Си-W* для ВЧ магнетронного распыления

Как видно из рисунка 1, морфология поверхности мишени представлена структурными элементами, сформированными в ходе коалесценции микроскопических капель, образующихся в ходе синтеза мишени. Таким образом поверхность мишени представлена основой в виде *Си* и равномерно распределенными частицами *W*. Данные мишени пригодны для использования в ходе осаждения покрытий из плазмы ВЧ магнетронного разряда.

Заключение

Экспериментально подобран режим формирования ВЧ магнетронной мишени из порошков несмешивающихся металлов на основе системы *Си-W*. Электровзрыв двух переплетенных проволо-

чек из *Cu* и *W* ведет к формированию частиц нано и микрометрового размера. Дальнейшее компактирование порошков путем одноосного прессования и синтеза в вакууме позволяет сформировать мишени требуемого размера, пригодные для ВЧ магнетронного распыления.

Работа частично поддержана стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2022) №СП-4860.2022.4. Частицы Cu-W получены при поддержке Российского научного фонда, грант № 21-79-30006.

Список используемых источников:

1. Агулов А. В. Закономерности формирования структуры и свойств пленок тугоплавких соединений // Фізична інженерія поверхні, 2014. – №. 12, № 3. – С. 338-356.
2. Wang C. Deposition and structure of W-Cu multilayer coatings by magnetron sputtering // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2003. – Т. 36. – №. 21. – С. 2709.
3. Dinu M. Tribological behaviour of RF-magnetron sputter deposited hydroxyapatite coatings in physiological solution // Ceramics International. – 2017. – Т. 43. – №. 9. – С. 6858-6867.
4. Musil J. Reactive magnetron sputtering of thin films: present status and trends // Thin solid films. – 2005. – Т. 475. – №. 1-2. – С. 208-218.
5. Petr M. Surfaces with roughness gradient and invariant surface chemistry produced by means of gas aggregation source and magnetron sputtering // Plasma Processes and Polymers. – 2016. – Т. 13. – №. 6. – С. 663-671.
6. Surmenev R. Radio frequency magnetron sputter deposition as a tool for surface modification of medical implants // Modern technologies for creating the thin-film systems and coatings. – 2017. – С. 213-248..
7. Pervikov A., Filippov, A., Mironov, Y., Kalashnikov, M., Krinitcyn, M., Eskin D, Lerner, M., Tarasov S. Microstructure and properties of a nanostructured W-31 wt% Cu composite produced by magnetic pulse compaction of bimetallic nanoparticles // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2022. – Т. 103. – С. 105735.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК В АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Н.А. Сапрыкина^{1,а}, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин¹, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев², д.т.н., проф.,
Е.А. Ибрагимов¹, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич², к.т.н.

¹Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61

²Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук
634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4

E-mail: ^аsaprikina@tpu.ru

Аннотация. Сплавы на основе алюминия находят широкое применение в автомобилестроении и космической отрасли из-за низкой плотности, высокой электро- и теплопроводности, коррозионной стойкости и удельной прочности. В работе рассмотрено влияние легирующих добавок в сплаве на основе алюминия на микроструктуру, механические свойства и технологичность при применении в аддитивных технологиях. Для разработки научных и технологических подходов применения послойного лазерного синтеза получения модельных образцов предложена композиция из порошков системы алюминий-кремний-магний в следующем соотношении Al -91 масс.%, Si -8 масс. %, Mg-1 масс. %.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (SLM); сплавы на основе алюминия; аддитивное производство; легирующие добавки.

Abstract. Aluminum-based alloys are widely used in the automotive and space industries due to their low density, high electrical and thermal conductivity, corrosion resistance and specific strength. The paper considers the influence of alloying additives in an aluminum-based alloy on the microstructure, mechanical properties and manufacturability when used in additive technologies. To develop scientific and technological approaches to the use of layer-by-layer laser synthesis for obtaining model samples, a composition of powders of the aluminum-silicon-magnesium system in the following ratio of Al -91 wt.%, Si -8 wt. %, Mg-1 wt. %.

Keywords: selective laser melting (SLM); aluminum alloys; additive manufacturing; alloying additives.

Несмотря на промышленные инвестиции в аддитивные технологии, несколько серьезных препятствий все еще не позволяют полностью раскрыть их огромный потенциал [1]. Основные препятствия связаны с применением металлических порошковых материалов. Многие образцы, полученные из конструкционных сплавов методами аддитивных технологий подвержены значительному растрескиванию при затвердевании. Также препятствием применения аддитивных технологий является большой пробел в знаниях о микроструктурах, образующихся в результате сложных неравновесных процессов. Среди аддитивных технологий наиболее распространенной является технология селективного лазерного плавления (СЛП), при которой лазерный луч сканирует поверхность тонкого порошкового слоя для его плавления только там, где требуется конструкция детали. Путем повторения плавления порошка следующих слоев, а именно послойного наращивания, допускается реализация трехмерной детали на основе 3D-CAD модели. Возможность изготовления сложно профильных деталей, которые не могут быть получены с помощью обычных процессов, является одним из основных преимуществ этой технологии. Высокие скорости нагрева и охлаждения металлического порошкового материала, позволяют формировать нанозернистые структуры. Из-за сложных явлений, происходящих при взаимодействии лазера со слоем порошка, взаимосвязь между параметрами режима селективного лазерного плавления, составом порошков и технологии их получения, механизмами затвердевания и получаемыми микроструктурами до сих пор не установлена [2, 3].

Целью данной работы является проведение анализа влияния легирующих добавок и определения их оптимального соотношения в сплаве на основе алюминия для создания высокопрочных сплавов методом селективного лазерного плавления.

В настоящее время только небольшое количество алюминиевых сплавов используется в качестве сырья для аддитивного производства. Хотя сплавы на основе алюминия находят широкое применение в автомобилестроении и космической отрасли из-за низкой плотности, высокой электро- и теплопроводности, коррозионной стойкости и удельной прочности. В частности, необходимы значительные усилия для четкого понимания влияния легирующих добавок и микрочастиц на структуру, размер зерен и распределение выделений в сплавах на основе алюминия в результате селективного лазерного плавления.

Для применения в СЛП распространенными порошками является порошок сплава $AlSiMg$, $AlSi12$. Механические свойства изделий, изготовленных из этих двух сплавов, сравнимы со свойствами литых образцов, но явно уступают свойствам образцов, изготовленных из высокопрочных алюминиевых сплавов, таких как Al7075 (5,5 % цинка – 2,5 % магния – 1,5 % меди), у которых предел текучести более 500 МПа и пластичность 3–9% [4]. СЛП последнего, к сожалению, затруднен из-за низкой свариваемости, а также из-за высокой отражательной способности и низкой вязкости (недостаток, свойственный большинству обычных алюминиевых сплавов). В частности, термическое сжатие во время плавления приводит к образованию больших трещин. Кроме того, испарение во время лазерного плавления легирующих элементов с низкой температурой плавления, таких как Zn имеют решающее значение для образования упрочняющих фаз, что также способствует ухудшению механических свойств в результате. Было реализовано несколько стратегий для уменьшения дефектов и, таким образом, для улучшения возможности печати сплавов алюминия методом СЛП. К ним относится постобработка горячим изостатическим прессованием [5], а также изменение параметров лазерного плавления, таких как стратегия сканирования [6] и мощность лазера [7]. С другой стороны, внутренние попытки уменьшить подверженность трещинам включают, во-первых, изменение состава сплава [8]. Известными примерами этой стратегии являются добавление Zr и Sc к сплавам $Al-Mg$, вызывающее образование когерентных выделений $Al_3(Sc, Zr)$ во время затвердевания в СЛП, а также легирование Si [9]. В своей работе Martin [10] показал, что склонность к растрескиванию может быть значительно снижена путем смешивания порошков алюминиевого сплава с микрочастицами, содержащими зародышеобразователи, которые вызывают измельчение зерна во время обработки. Растворимость Mg в литых сплавах $Al-Si-Mg$ довольно ограничена. Известные сплавы $Al-Si-Mg$ для аддитивных технологий имеют содержание Mg менее 0,75 мас.% [11]. Пределы растворения Si и Mg в Al могут быть значительно расширены за счет быстрого охлаждения в результате СЛП. Размерный эффект признан доминирующим фактором в сплавах Al, упрочненных твердым раствором. В этом отношении Mg особенно эффективен для повышения предела текучести и скорости деформационного упрочнения. Кремний является распространенным и недорогим легирующим компонентом для алюминиевого сплава и предотвращает микротрещины в деталях. Добавление кремния оказывает положительное влияние на процесс плавления, морфологию микроструктуры и механические свойства. По мере увеличения содержания кремния пустоты и трещинообразование в образцах СЛП подавлялись,

объемная плотность энергии для достаточного уплотнения была уменьшена. Микротвердость по Виккерсу и предел текучести 0,2% были повышены за счет увеличения содержания дополнительного кремния. Напротив, избыточное содержание кремния приводило к хрупкости, которая проявлялась как небольшая пластичность, измеренная при испытаниях на растяжение, и разрушение образцов в процессе СЛП. Эти противоречивые эффекты указывают на то, что содержание кремния необходимо регулировать в зависимости от основного сплава, чтобы обеспечить лучшую технологичность и баланс между прочностью и пластичностью. Для сплава *Al-Si* оптимальное содержание кремния составляет 5%, что является самым низким содержанием кремния, необходимым для устранения растрескивания, увеличением прочности и получения приемлемой пластичности. Снижение содержания кремния до 4% у образца наблюдались микротрещины и поры диаметром несколько десятков микрометров, распределенные по границе. Образец с 16% дополнительным содержанием кремния также не имел серьезных дефектов, несмотря на саморазрушение в процессе СЛП [12].

Обзор литературных источников показал, что микроструктура сплава, полученного из порошков алюминия, кремния, магния в процессе лазерного плавления довольно сильно отличается от структуры сплава, полученного традиционными методами, из-за высоких скоростей нагрева и охлаждения материала во время селективного лазерного плавления. Увеличение магния в сплаве позволяет повысить механическую прочность изделия, однако его растворимость в сплавах довольно ограничена. Содержание кремния также необходимо регулировать.

Основываясь на проведенных исследованиях учеными, для разработки научных и технологических подходов применения аддитивных технологий – послойного лазерного синтеза, получения модельных образцов из порошков системы алюминий-кремний-магний в следующем соотношении *Al* -91 масс.%, *Si* -8 масс. %, *Mg*-1 масс. Планируется решить задачу послойного трехмерного синтеза модельных образцов из порошковых материалов алюминия, кремния, магния, имеющих значительно отличающуюся температуры плавления, плотности. Температура плавления алюминия (660 °C), кремния (1414 °C) и магния (650 °C), плотность (у алюминия 2,7 г/см³, у кремния 2,35 г/см³, магния 1,74 г/см³). При этом теплоемкости алюминия, кремния, магния близки друг к другу. Молярная теплоемкость алюминия составляет 24,35 Дж/(К•моль), кремния 20,16 Дж/(К•моль), магния 24,9 Дж/(К•моль) теплопроводность при комнатной температуре алюминия 237 Вт/(м•К), кремния 149 Вт/(м•К), магния 156 Вт/(м•К). Температура плавления порошков, отличается почти на 800 градусов, а также порошки имеют узкий диапазон режимов плавления (мощность лазера, скорость перемещения лазера, шаг сканирования и т.д.) для получения сплава со стабильной фазовой структурой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01491, <https://rscf.ru/project/22-29-01491/>

Список используемых источников:

1. S.H. Khajavi, J. Partanen, J. Hölmstrom. Additive manufacturing in the spare parts supply chain Comput. Ind., 65 (2014), pp. 50-63.
2. A. Yadollahi, N. Shamsaei. Additive manufacturing of fatigue resistant materials: challenges and opportunities. Int. J. Fatigue, 98 (2017), pp. 14-31.
3. Khimich M.A. , Ibragimov E.A. , Chebodaeva V.V. , Saprykin A.A. , Saprykina N.A. , Sharkeev Y.P. Comparison the Preparation Methods of Powder Feedstock for Laser Powder Bed Fusion // Solid State Phenomena. - 2022 - Vol. 328. - p. 63-71. doi: 10.4028/p-7tc3od.
4. K. Ma, H. Wen, T. Hu, T.D. Topping, D. Isheim, D.N. Seidman, E.J. Lavernia, J.M. Schoenung. Mechanical behavior and strengthening mechanisms in ultrafine grain precipitation-strengthened aluminum alloy. Acta Mater., 62 (2014), pp. 141-155.
5. N.E. Uzan, R. Shneck, O. Yeheskel, N. Frage. Fatigue of AlSi10Mg specimens fabricated by additive manufacturing selective laser melting (AM-SLM). Mater. Sci. Eng. A, 704 (2017), pp. 229-237.
6. N.T. Aboulkhair, N.M. Everitt, I. Ashcroft, C. Tuck. Reducing porosity in AlSi10Mg parts processed by selective laser melting. Addit. Manuf., 1–4 (2014), pp. 77-86.
7. D. Buchbinder, H. Schleifenbaum, S. Heidrich, W. Meiners, J. Bültmann. High power selective laser melting (HPSLM) of aluminum parts. Phys. Proc., 12 (2011), pp. 271-278.
8. M. Awd, J. Tenkamp, M. Hirtler, S. Siddique, M. Bambach, F. Walther. Comparison of microstructure and mechanical properties of Scalmetalloy produced by selective laser melting and laser metal deposition. Materials, 11 (1–17) (2017), p. 17.

9. M.L. Montero-Sistiaga, R. Mertens, B. Vrancken, X. Wanga, B. Van Hooreweder, J.-P. Kruth, J. Van Humbeeck. Changing the alloy composition of Al7075 for better processability by selective laser melting. J. Mater. Proc. Technol., 238 (2016), pp. 437-445.
10. J.H. Martin, B.D. Yahata, J.M. Hundley, J.A. Mayer, T.A. Schaedler, T.M. Pollock. 3D printing of high-strength aluminium alloys. Nature, 549 (2017), pp. 365-369.
11. YC Bai, YQ Yang, ZF Xiao, MK Zhang, D. Wang. Оптимизация процесса и изменение механических свойств AlSiMg0,75 путем селективного лазерного плавления. Mater. Des., 109 (2018), с. 256 – 266.
12. Yuki Otani, Shinya Sasaki. Effects of the addition of silicon to 7075 aluminum alloy on microstructure, mechanical properties, and selective laser melting process ability. Materials Science and Engineering: A Volume 777, 10 March 2020, 139079.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТА AL-7FE-38SN ВРАЩАЮЩИМСЯ ПЛОСКИМ ДИСКОМ

Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с., А.Л. Скоренцев, к.т.н., н.с., А.В. Чумаевский, к.т.н., н.с.

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения

Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

634021, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-62

E-mails: skoralexan@mail.ru; rusinnm@mail.ru; tch7av@gmail.com

Аннотация. В работе исследовано влияние режима фрикционной перемешивающей обработки на структуру подповерхностного слоя спеченного композита Al-7Fe-38Sn. Установлено, что в ходе такой обработки на поверхности композита формируется тонкий мелкокристаллический слой толщиной до 150 мкм, состоящий из измельченных частиц износа, и расположенный под ним слой сильнодеформированного материала композита толщиной до 1 мм.

Ключевые слова: алюминиевые антифрикционные сплавы, фрикционная перемешивающая обработка, изнашивание, структура.

Abstract. An effect of the friction stir processing mode on the subsurface layer structure of sintered Al-7Fe-38Sn composite was investigated in this work. It was established that during such a processing, an upper thin fine-grained layer up to 150 μm thick consisting of crushed wear particles is formed on the surface of the composite. A layer of highly deformed material of the composite up to 1 mm thick is formed under the upper layer.

Keywords: antifriction aluminum-based alloys, friction stir processing, wear process, structure.

Введение. При сухом трении покрывающая алюминий хрупкая оксидная плёнка разрушается, и он может схватываться с поверхностью стального контртела. Прилегающий к области схватывания материал вырывается с поверхности алюминия и переносится на поверхность стального контртела, формируя здесь слой переноса [1-2]. В результате, фрикционный контакт между разноимёнными материалами трансформируется в контакт между одноимёнными металлами, ещё более благоприятный для схватывания. Частицы слоя переноса вдавливаются в поверхность алюминиевого образца и интенсивно её деформируют путём отеснения впереди лежащего материала. Вследствие многократного воздействия скользящих неровностей на поверхность образца здесь формируется слой перемешивания, состоящий из осколков оксидных плёнок и матричного материала, под которым располагается слой сильнодеформированного материала [3-4].

Слой перемешивания и слой переноса по структуре, свойствам и составу сильно отличаются от материалов подложки и, по сути, представляют собой третье тело. Если фрикционный контакт далее реализуется по плоскостям, расположенным внутри третьего тела, то трение будет оставаться внешним по отношению к взаимодействующим контртелам. Для этого нужно, чтобы от поверхности вглубь образца существовал положительный градиент прочности. Скорость изнашивания пары трения в этом случае будет определяться скоростью изнашивания третьего тела.

Исследования поверхности стального контртела после его сухого трения по Al образцу показали, что слой переноса состоит из малых и относительно больших частиц износа образца [5]. Наличие последних означает, что слой перемешивания не может полностью препятствовать непосредственному контакту материала его подложки с поверхностными неровностями дорожки трения. Материал подложки вовлекается в деформацию, и в такие моменты внешнее трение становится внутрен-

ним. Следствием этого является отслоение сильнодеформированных слоёв материала и перенос частиц износа на поверхность дорожки трения.

Слой перемешивания состоит из материала образца, контртела, а также осколков хрупких оксидных плёнок. При определённой концентрации в нём оксидов он начинает хрупко разрушаться, и обнажается ювенильная поверхность склонного к схватыванию алюминия. Однако если в алюминий ввести олово, то сопротивление сплава адгезионному изнашиванию возрастает [6-7]. Было установлено [8], что при сухом трении минимальная интенсивность изнашивания алюминия наблюдается при концентрации в нём олова ~40%.

Введение в поверхностный слой Al образца твёрдых частиц также приводит к снижению интенсивности его изнашивания при сухом и граничном трении, поскольку выступающие над поверхностью трения частицы воспринимают часть внешней нагрузки и равномерно перераспределяют её по объёму матрицы [9]. Для этого частицы должны быть прочно связаны с алюминиевой матрицей и содержащимися в ней оловянными включениями. В противном случае непрочные границы раздела фаз могут существенно ослабить композиционный материал. Так, в качестве упрочняющих сплавы Al-Sn частиц можно использовать алюминиды переходных металлов, хорошо смачиваемых как алюминием, так и оловом.

Целью настоящей работы было отслеживание динамики формирования деформационных слоёв на поверхности алюмоматричного композиционного образца в зависимости от величины нормальной нагрузки и скорости скольжения стального контртела.

Материалы и методика эксперимента. В качестве исходного материала был выбран композит состава Al-7Fe-38Sn. Для его получения смесь элементарных порошков в указанной пропорции прессовали в брикеты (пористостью около 10%) диаметром 70 мм и толщиной 12 мм и спекали при 620 °C в течение часа. Далее проводили триботехнические испытания полученного материала. К спечённому диску прижимался стальной образец (призма) в форме усечённого конуса с диаметром верхнего основания 20 мм и с цилиндрическим выступом (пином) диаметром 5 мм по центру. Призма была изготовлена из инструментальной штамповой стали марки 4X4BMФС. Для фиксации оси вращения конуса в испытываемом образце высверливались заглубления диаметром 5 мм, в которые вставлялся пин стального усечённого конуса. Конус нагружали и начинали вращать с заданной скоростью. Скорость скольжения рассчитывалась по внешнему радиусу усечённого основания. Для оценки действующей силы трения измеряли момент трения, действующий на крутящемся валу.

После завершения экспериментов из плоских образцов электроискровым способом вырезались образцы для исследования структуры материала под конусной призмой. Шлифы готовили по обычной методике, с последующим подтравливанием их поверхности в 4% растворе азотной кислоты в спирте. Исследования структуры проводили с помощью предоставленных ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН (ЦКП ТНЦ СО РАН) оптического AXIOVERT-200MAT (Zeiss, Германия) и сканирующего электронного LEO EVO 50 (Карл Цейс, Германия) со встроенным микроанализатором микроскопов.

Результаты и их обсуждение. Первая серия опытов была направлена на изучение структуры, формирующейся под вращающимся конусом при скорости скольжения (V) 0,6 м/с и давлении (P) 5 МПа. Длина пути трения составляла 50, 250 и 500 м, соответственно. Фотографии структуры под поверхностью трения приведены на рис. 1.

Из представленных фотографий следует, что материал под призмой интенсивно деформируется. Зёрна алюминиевой матрицы плющаются и вытягиваются в направлении скольжения. Глубина распространения интенсивной деформации достигает ~ 200 мкм и с увеличением времени трения не меняется, поскольку скорость её распространения становится равной скорости изнашивания за счёт отслаивания сильно деформированных зёрен матрицы. Под влиянием центробежных сил частицы износа выносятся на периферию дорожки трения и далее за её пределы. Часть частиц износа попадает в отверстие под пином и в зазор между ним и стенками (рис. 1г).

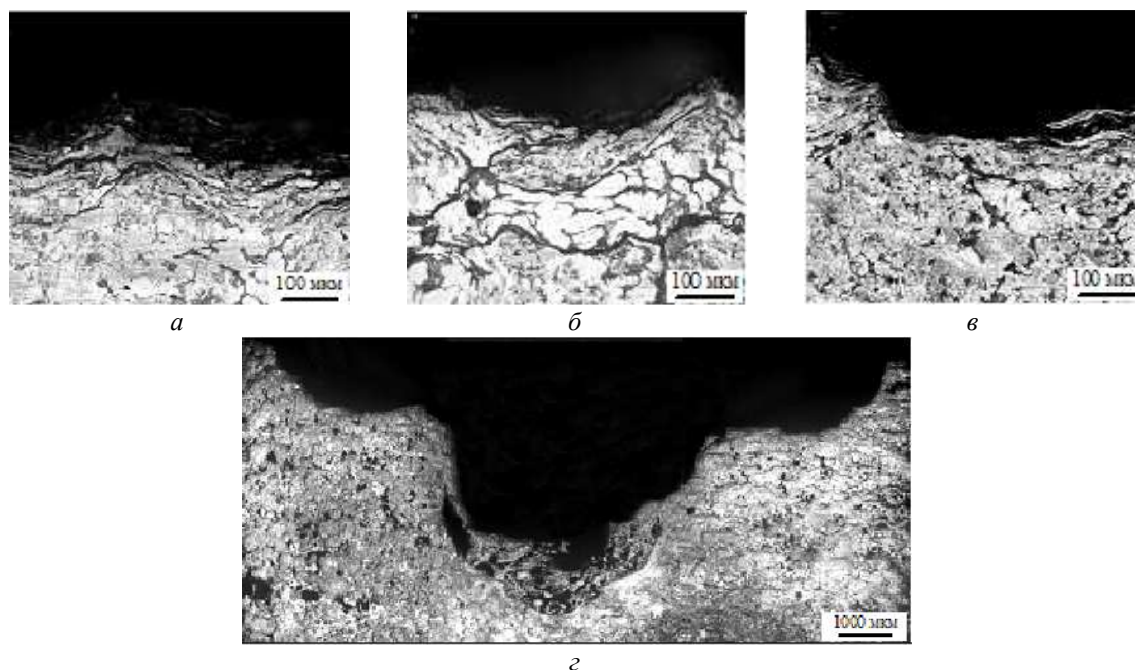


Рис. 1. Структура под поверхность трения композиционного сплава Al-7Fe-38Sn.
Длина пути трения, м: 50 (а), 250 (б) и 500 (в, г – панорамный снимок). $V = 0,6$ м/с, $P = 5$ МПа.
Светлая фаза – Al, серая – частицы Al_3Fe , тёмные прослойки – олово.

Удаление продуктов износа из под призмы приводит к погружению её в тело образца. Например, глубина её погружения составила не менее 250 мкм после 84 сек испытания и ~ 1000 мкм через 420 сек, после трения в течение 840 сек призма углубилась на 1500 мкм. То есть, средняя интенсивность изнашивания (Ih) материала под призмой составила не менее 3 мкм/м. Тогда как при испытании этого же материала по схеме «палец-диск» и при таких же внешних условиях величина Ih была на порядок меньше. Причины ускоренного износа материала под призмой пока не ясны и, возможно, обусловлены размерами площади трения и температурой на её поверхности.

Из-за того, что продукты износа быстро удаляются с поверхности трения, и её состав постоянно обновляется, то слоя перемешивания сколь-нибудь заметной толщины при заданных условиях здесь не образуется. Мелкокристаллический слой небольшой толщины формируется под пином, где продукты износа находятся в теснённых условиях (рис. 1в). Возможно, образованием указанного слоя и обусловлено снижение величины момента трения (J) от 5,32 до 5,27 Н·м после прохождения 500 м.

С целью проверки влияния давления на характер структуры композита под поверхностью трения его величина была увеличена вдвое до $P = 10$ МПа. Результаты такого фрикционного воздействия показаны на рис. 2. Видно, что результатом повышения давления стало более быстрое внедрение трущегося конуса в тело алюминиевого композита (рис. 2а), из-за чего после 2 минут трения эксперимент был прекращён. Путь трения составил 72 м, однако этого было достаточно, чтобы на поверхности трения сформировался мелкокристаллический слой толщиной около 50-150 мкм (рис. 2б). Под ним образовался слой сильнодеформированного материала толщиной немногим менее 1 мм. Причём видно, что агломераты, состоящие из скопления мелких частиц алюминидов железа, сопротивляются деформации сильнее, чем окружающая их алюминиевая матрица. В результате мягкий материал матрицы выдавливается на поверхность трения с большей скоростью. Частицы алюминидов железа в процессе деформации материала под поверхностью трения также измельчаются, но более низкими темпами, чем зёрна окружающей их Al матрицы.

Другим энергетическим параметром процесса трения является скорость скольжения. Чтобы оценить её влияние на характер формирующейся под поверхностью трения структуры исследуемый композит был подвергнут фрикционному воздействию усечённого конуса при давлении 10 МПа и повышенной с 0,6 до 0,9 м/с скорости скольжения. Скручивающий момент на оси вращения конуса при увеличении скорости скольжения снизился от 5,83 до 4,66. Однако скорость врезания конуса в образец при этом хотя и была ниже, чем в предыдущем случае, но всё равно оставалась высокой,

и через 4 минуты эксперимент был остановлен. Изображение сформировавшейся под воздействием такого трения структуры приведено на рис. 3.

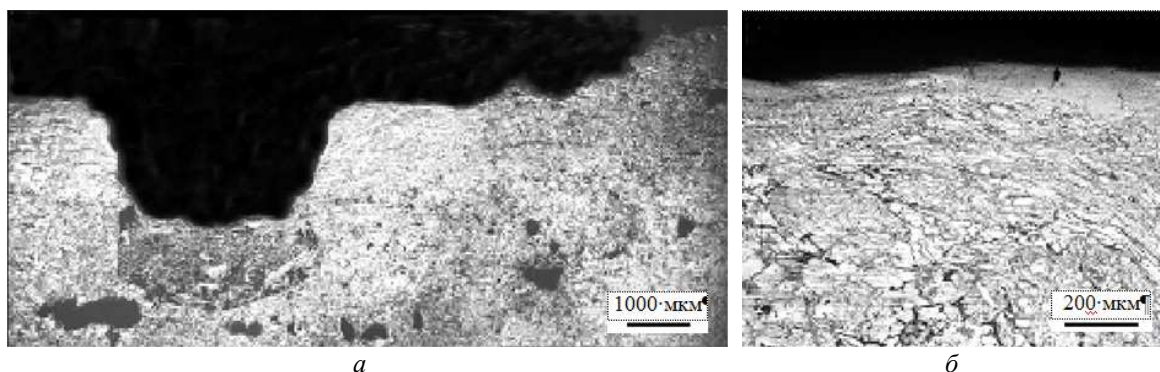


Рис. 2. Общий вид (а) и структура материала (б) под поверхностью трения композита Al-7Fe-38Sn после 120 сек сухого трения при $V = 0,6$ м/с и $P = 10$ МПа.

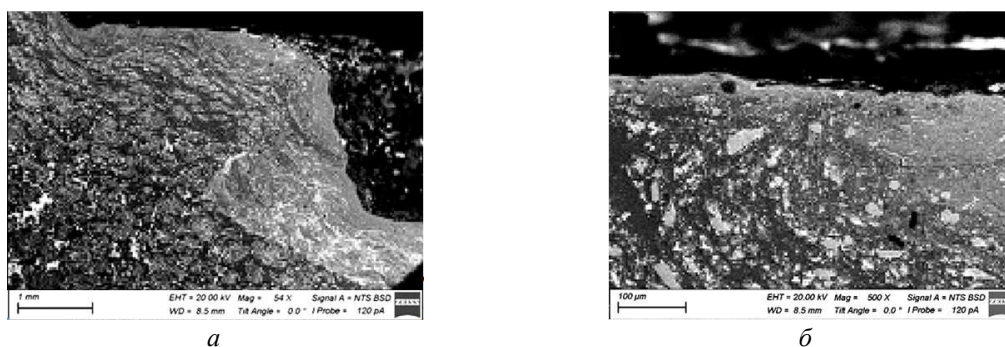


Рис. 3. Общий вид (а) и более детальное изображение структуры (б) образца Al-7Fe-38Sn после фрикционного воздействия на него вращающегося стального усечённого конуса. $V = 0,9$ м/с, $P = 10$ МПа.

Из приведенных РЭМ изображений следует, что на поверхности трения образца под конусом сформировалась такая же структура, как и в предыдущем случае: поверхностный мелкокристаллический слой имеет толщину от 50 до 150 мкм и располагается на подложке из сильнодеформированного материала образца толщиной около 1 мм (рис.3а). Толщина мелкокристаллической области неоднородна. Это обусловлено разными механическими свойствами агломератов из твёрдых частиц и окружающей их матрицы. Как следствие, течение материала вблизи поверхности трения становится неоднородным, теряет устойчивость и появляются составляющие турбулентного движения. Ниже деформированного слоя располагается зона действия упругих напряжений, где материал сохраняет исходную структуру.

Обращает на себя внимание тот факт, что агломераты из твёрдых алюминидов сильно меняют свою форму по мере приближения к поверхности трения (рис. 3а). Их ориентация указывает, что заглабление конуса в образец происходит не только за счёт образования частиц износа и выноса их за пределы площади трения, но и за счёт экструзии части материала из-под конуса за пределы круга трения. Тонкая форма агломератов в переходной области по периметру воздействия конуса указывает, что при данных внешних условиях указанная деформационная составляющая даёт большой вклад в степень заглабления конуса в материал пластины.

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

Пластическое течение материала композита Al-7Fe-38Sn под вращающимся плоским контртелом приводит к изменению формы составляющих структурных элементов (агломератов твёрдых частиц и алюминиевых зёрен) – они утончаются и вытягиваются в направлении действия сил трения. При малом внешнем давлении до 5 МПа деформированные зёрна отслаиваются и образуют частицы

износа, которые затем выносятся из зоны трения. В результате вращающееся контртело заглубляется в поверхность композиционного материала со скоростью, определяемой интенсивностью образования частиц износа. Структура материала под поверхностью тела состоит из тонкого слоя сильно деформированных зёрен, ниже которого расположен градиентный слой толщиной 100-200 мкм.

Увеличение давления до 10 МПа и (или) скорости скольжения контртела до 0,9 м/с приводит к появлению на поверхности трения дополнительного мелкокристаллического слоя толщиной до 150 мкм, который состоит из измельчённых и вдавленных в поверхность образца частиц износа. Слой имеет квазиоднородную структуру, но содержит большое количество дефектов типа трещин, тонких включений олова и крупных пор. Он также неоднороден по толщине.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.

Список используемых источников:

1. Буше Н.А. и др. Подшипники из алюминиевых сплавов. М.: Транспорт, 1974, 256 с.
2. Jerina J., Kalin M. Initiation and evolution of the aluminium-alloy transfer on hot-work tool steel at temperatures from 20 °C to 500 °C // Wear. 2014. V. 319. P. 234-244.
3. Рубцов В.Е., Тарасов С.Ю., Колубаев А.В. Одномерная модель неоднородного сдвига при трении скольжения // Физическая мезомеханика. 2012. Т. 15. N 4. С. 103-108.
4. Liu X., Zeng M.Q., Ma Y., Zhu M. Promoting the high load-carrying capability of Al-20 wt% Sn bearing alloys through creating nanocomposite structure by mechanical alloying // Wear. 2012. V. 294-295. P. 387-394.
5. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Колубаев Е.А. Сухое трение чистого алюминия по стали // Трение и износ. 2016. Т. 37. N 1. С. 109-118.
6. Zeng M.Q., Hu R.Z., Song K.Q., Dai L.Y., Lu Z.C. Enhancement of wear properties of ultrafine-structured Al-Sn alloy-embedded Sn nanoparticles through in situ synthesis. Tribology Letters. 2019. V. 67. 84.
7. Миронов А.Е., Белов Н.А., Столярова О.О. Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения. М.: Изд. дом МИСиС, 2016, 222 с.
8. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Власов И.В. Формирование слоя переноса при сухом трении сплава Al-Sn по стали // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. N 9. С. 415-420.
9. Ayyanar S., Gnanavelbabu A., Rajkumar K., Loganathan P. Studies on high temperature wear and friction behavior of AA6061/B4C/hBN hybrid composites. Metals and Materials International. 2021.V. 27. P. 3040-3057.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ,
НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО
АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

А.В. Филиппов, к.т.н, с.н.с., Н.Н. Шамарин, м.н.с.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81*

E-mail: avf@ispms.ru

Аннотация. Для решения проблемы формирования столбчатых зерен при печати алюминиевой бронзы методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства в работе рассматривается возможность применения методики интенсивной пластической деформации. Экспериментально подобраны режимы интенсивной пластической деформации, обеспечивающие формирование ультрамелкозернистой структуры в образцах напечатанной алюминиевой бронзы. Методика деформации заключается в многостороннем прессовании и прокатке напечатанных образцов. Методом просвечивающей электронной микроскопии исследована структура образцов после двух стадий деформационной обработки.

Ключевые слова: алюминиевая бронза, аддитивное производство, интенсивная пластическая деформация.

Abstract. To solve the problem of the formation of columnar grains during printing of aluminum bronze by the method of wire electron-beam additive manufacturing, the paper considers the possibility of applying the technique of severe plastic deformation. The modes of severe plastic deformation are experimentally selected, which ensure the formation of an ultrafine-grained structure in samples of printed aluminum bronze. The deformation technique consists in multilateral pressing and rolling of printed samples. The structure of the samples after two stages of deformation processing was studied by transmission electron microscopy.

Keywords: aluminum bronze, additive manufacturing, severe plastic deformation.

Медные сплавы являются одними из наиболее распространенных материалов, используемых в различных промышленных отраслях. Это обусловлено возможностью сочетать в материале высокую прочность, износостойкость, коррозионную стойкость, а также хорошую обрабатываемость резанием и давлением. Такие широкие возможности по созданию свойств материалов обеспечиваются как легированием меди различными химическими элементами, так и возможностью изменения структурного и фазового состояния за счет применения методов термической и деформационной обработки. Одним из основных легирующих элементов для меди является алюминий. Даже небольшие его добавки существенно влияют на физико-механические свойства и структуру бронз. Однако, при традиционном литье или спекании порошков происходит значительное окисление компонентов сплава, что может существенно ухудшить его свойства. В контексте данной проблемы возможной альтернативой традиционным технологиям является аддитивное производство в вакууме. Медные и алюминиевые сплавы успешно получают путем 3D печати с использованием лазерной и электронно-лучевой технологий [1,2]. Тем не менее второй метод является более эффективным поскольку не имеет ограничений по отражающей способности материалов. Тогда как печать меди и её сплавов с использованием лазерных технологий требует мощных и дорогостоящих установок. В то же время при печати бронзы чаще всего формируется крупная столбчатая структура, которая плохо сказывается на механических свойствах материала. Следовательно, требуется найти способы улучшения структуры путем её измельчения. Одним из наиболее эффективных способов является интенсивная пластическая деформация.

Целью работы является исследование возможности изменения структуры алюминиевой бронзы напечатанной методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства путем применения обработки посредством интенсивной пластической деформации (ИПД).

Для получения образцов использовалось оборудование электронно-лучевого аддитивного производства, разработанное в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН. Печать алюминиевой бронзы велась из проволоки на подложке из стали. Затем из напечатанного образца (Рис.1) вырезался фрагмент с помощью электроэрозионного станка. Первым этапом ИПД было прессование по трем координатным осям до достижения 50% пластической деформации на каждом шаге прессования. Вторым этапом было ИПД образца после многостороннего прессования путем прокатки с изменением сечения образца от 20 мм до 10 мм. ИПД осуществлялось при комнатной температуре. После осуществления обработок из образцов на электроэрозионном станке вырезались фрагменты, которые затем механически шлифовались до толщины 0,2 мм. После этого путем ионного фрезерования формировали тонкие фольги для исследования тонкой структуры на просвечивающем электронном микроскопе.

Структура образцов напечатанной алюминиевой бронзы после ИПД методом многостороннего прессования представляет собой сильно деформированную структуру с высокой плотностью дислокаций (Рис. 2а). В то же время этот метод обработки не привел к формированию мелких зерен. В свою очередь прокатка оказала более существенное воздействие на структуру напечатанного образца (Рис. 2б). Хорошо различимы ультрамелкозернистые зерна чьи размеры находятся в диапазоне 50-200 нм. Преимущественно зерна имеют размер менее 100 нм. Следовательно, наиболее эффективной обработкой является многостороннее прессование с последующей прокаткой.

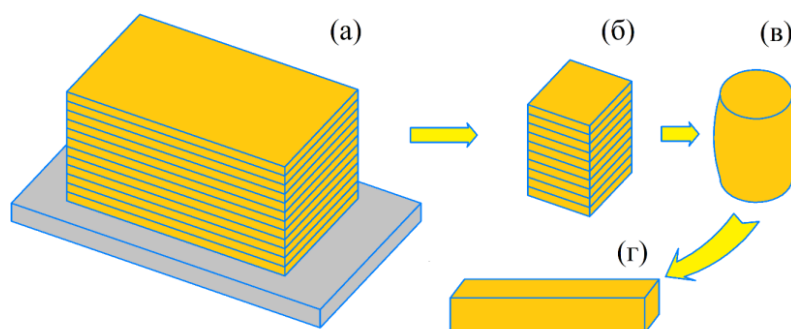


Рис. 1. Схема получения образцов. Напечатанный на подложке материал (а) и вырезанный из него фрагмент для ИПД (б). Образцы после многостороннего прессования (в) и прокатки (г)

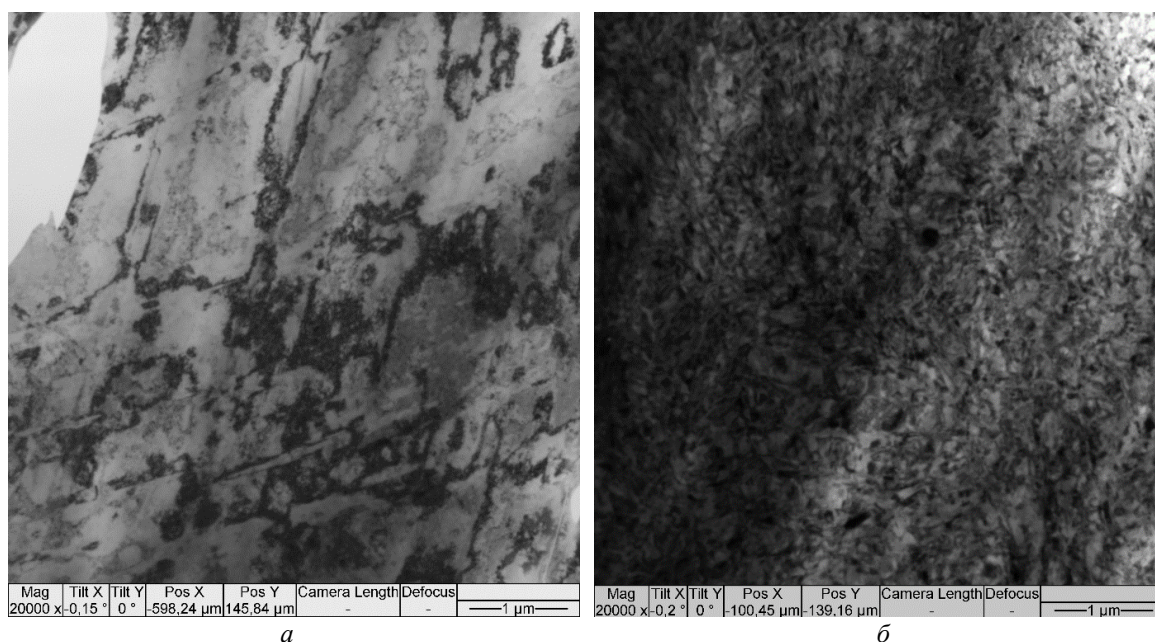


Рис. 2. Структура стенок образцов алюминиевой бронзы после интенсивной пластической деформации методами многостороннего прессования (а) и прокатки (б)

Выводы

В работе представлены результаты экспериментального исследования. Для измельчения структуры алюминиевой бронзы, напечатанной методом проволоочного электронно-лучевого аддитивного производства, использовались два способа интенсивной пластической деформации. Первый, многостороннее прессование привел к формированию сильнодеформированной структуры с высокой плотностью дислокаций. Второй, прокатка позволил сформировать ультрамелкозернистую структуру, с размером зерна менее 100 нм. Таким образом, доказано, что использование ИПД является эффективным подходом к измельчению структуры напечатанной бронзы.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00084, <https://rscf.ru/project/21-79-00084/>.

Список используемых источников:

1. Murr LE. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. Addit Manuf 2015;5:40–53. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.002>.
2. Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA, Martinez E, Hernandez J, Amato KN, et al. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. J Mater Sci Technol 2012; 28:1–14. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60016-4](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60016-4).

МОРФОЛОГИЯ ПРЕКУРСОРОВ СИСТЕМЫ Ti-AL ПОСЛЕ МЕХАНОАКТИВАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

*А.В. Собачкин^{1,а}, к.т.н., молодой ученый, А.Ю. Мясников^{1,2}, молодой ученый
научный руководитель: Ситников А.А.¹, профессор, д.т.н.*

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

E-mail: ^аanicpt@rambler.ru

Аннотация. В работе проведен фракционный анализ порошковых механокомпозитов-прекурсоров, полученных в результате механической активации состава $Ti + Al$ в планетарной шаровой мельнице Активатор-2SL. Установлено, что с увеличением времени механоактивации изменение объема частиц прекурсоров носит несистематический характер, что обусловлено деформационными процессами, происходящими во время механоактивационного воздействия.

Ключевые слова: механоактивация, морфология, прекурсоры, алюминиды титана.

Abstract. The paper presents a fractional analysis of powder mechanocomposites-precursors obtained as a result of mechanical activation of the $Ti + Al$ composition in the planetary ball mill Activator-2SL. It has been established that with an increase in the time of mechanical activation, the change in the volume of precursor particles is unsystematic, which is due to deformation processes occurring during mechanical activation.

Keyword: mechanical activation, morphology, precursors, titanium aluminides.

Введение

Актуальной задачей современных исследований является получение композиционных материалов, которые обладают комплексом особых взаимодополняющих свойств.

Известно, что одним из способов получения новых материалов является совмещение метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с предварительной механоактивационной обработкой (МА СВС) [1-3]. В результате механоактивации порошковой смеси формируются прекурсоры, от морфологии которых могут зависеть параметры СВС.

Цель работы – исследование морфологии прекурсоров после предварительного высокоэнергетического воздействия на порошковые материалы состава $Ti + Al$.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований применялись порошки титана ПТХ и порошки алюминия АСД-1. Для механоактивации использовалась планетарная шаровая мельница «Активатор-2SL». Центробежное ускорение мельницы составляло 50 g. Морфологический анализ прекурсоров выполнялся с помощью оптического микроскопа Axio Observer Z1m.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлено изображение структуры порошковой смеси после механоактивации на разных временах воздействия.

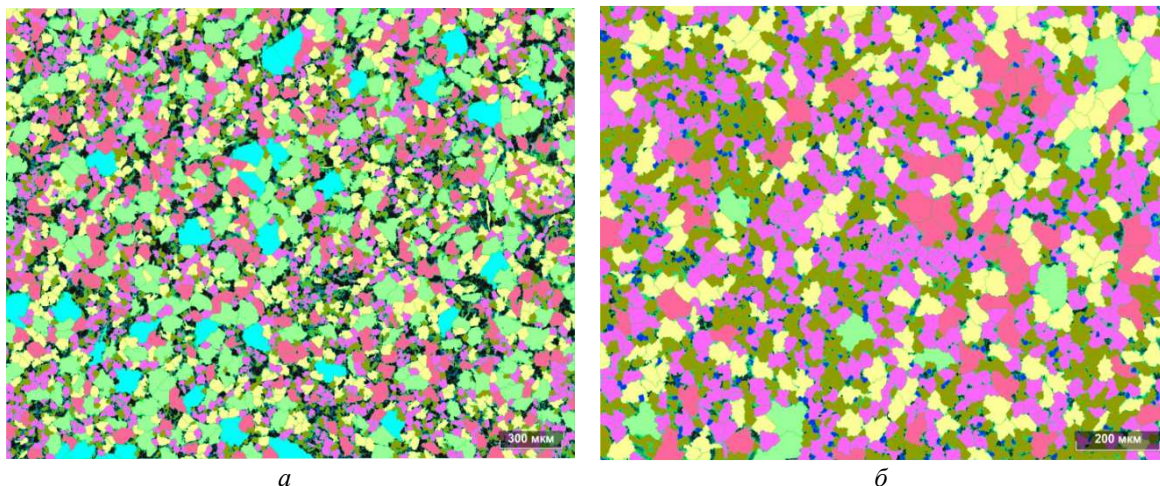


Рис. 1. Фракционный анализ механоактивированной смеси состава $Ti + Al$ при времени воздействия: а) 5 минут, б) 7 минут

На рисунке 2 приведен расчет объема частиц по размерным группам механоактивированной смеси состава $Ti + Al$ при и времени воздействия 5 и 7 минут, полученные на основе фракционного анализа шлифов на рисунке 1.

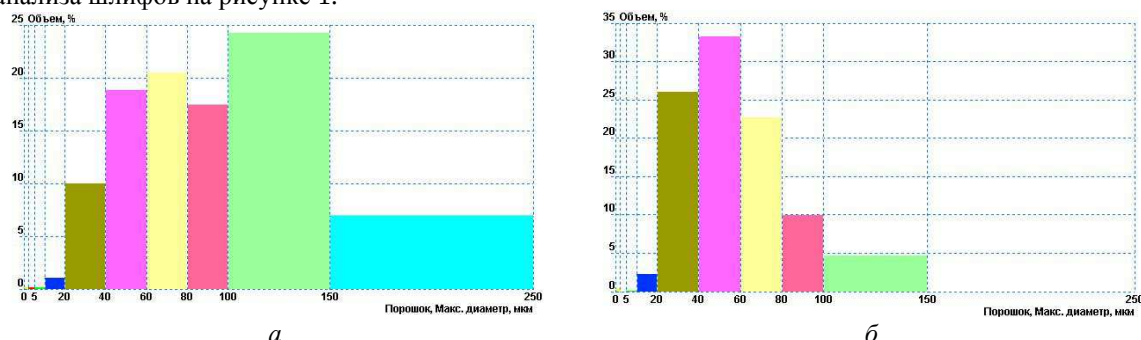


Рис. 2. Объем частиц прекурсоров $Ti + Al$ по размерным группам, время воздействия:
а) 5 минут, б) 7 минут

Из расчета следует, что в механоактивированной смеси состава $Ti + Al$ при времени воздействия 5 минут преобладает объем частиц размерной группы от 20 до 250 мкм, для более точного распределения значений показатель меньше 2% не учитывался. Для механоактивированной смеси состава при времени воздействия 7 минут преобладает объем частиц размерной группы от 20 до 150 мкм.

Выводы

В результате проведенных исследований по механоактивационной обработки порошковой смеси состава $Ti + Al$ с энергонапряженностью шаровой мельницы 50 г следует, что с увеличением времени МА изменение объема частиц прекурсоров носит несистематический характер, что обусловлено деформационными процессами, происходящими во время механоактивационного воздействия. Увеличение количества частиц размерной группы от 0 до 2 мкм на 7 минутах механоактивации приводит к их более равномерному распределению перемешиванию в объеме механокомпозита.

Работа выполнялась в рамках государственного Задания FZMM-2020-0002.

Список используемых источников:

1. Bernard F. Mechanical alloying in SHS research // International Journal of SHS. 2001. № 2. P. 109–131.
2. Rogachev A. S., Mukasyan A. S. Combustion for Material Synthesis. CRC Press, 2015. 424 p.
3. Khina B., Formanek B. On the physicochemical mechanism of the influence of preliminary mechanical activation on self-propagating high-temperature synthesis // Solid State Phenomena. 2008. V. 138. P. 159–164.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ «СТЯЖКА» МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Ю. Тимофеев^а, доцент, к.т.н., С.П Сопова, доцент, к.ф.н.,

Б.М. Максатбеков, студент гр.10760.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: ^аtvty@tpu.ru

Аннотация. В статье представлено исследование напряженно-деформированного состояния оригинальной детали вновь разработанной конструкции механизированной крепи сопряжения методом конечных элементов с применением программного комплекса SolidWorks Simulation. Деталь «стяжка» является тяжело нагруженной сварной металлоконструкцией, материал – сталь 14ХГ2САФД. При анализе напряженно-деформированного состояния и расчете на прочность разработаны численная модель и схема нагружения. Результаты численного эксперимента показали что разработанная конструкция и выбранный материал удовлетворяют критериям прочности.

Ключевые слова: Крепь сопряжения, стяжка, метод конечных элементов, численный эксперимент, напряженно-деформированное состояние.

Abstract. The paper presents a study of the stress-strain state of the original part of the newly developed construction of the mechanized face-end support by the finite element method using the SolidWorks Simulation software package. The "buckle" detail is a heavily loaded welded metalwork, material is steel 14XГ2САФД. At the analysis of the stress-strain state and calculations on durability numerical model and the loading scheme have been developed. The results of numerical experiment showed that the designed structure and the selected material meet the strength criteria.

Key words: Face-end support, buckle, finite element method, numerical experiment, stress-strain state.

Современные механизированные комплексы по добыче угля длинными столбами по простиранию используют крепи сопряжения, как элемент управления оборудованием на участке сопряжения лавы со штреком [1]. Современные механизированные крепи сопряжения управляют креплением кровли и положением головок привода забойного конвейера. Крепь сопряжения модели КСПЮ производства «Юргинский машзавод» (рисунок 1) представляет собой самодвижущаяся конструкцию пенального типа, с верхним расположением пенала. Предназначена для работы в широких и узких штреках трапецевидного и арочного сечений [2].

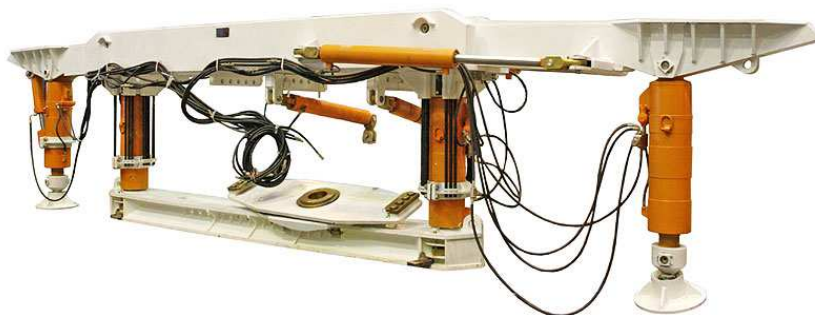


Рис. 1. Общий вид механизированной крепи сопряжения КСПЮ

В процессе эксплуатации данной крепи были выявлены основные недостатки, это потеря устойчивости и недостаточные возможности корректировки положения крепи. Для устранения указанных недостатков был предложен концептуальный вариант механизированной крепи сопряжения на основе конструкции КСПЮ, устраняющий указанные недостатки (рисунок 2).

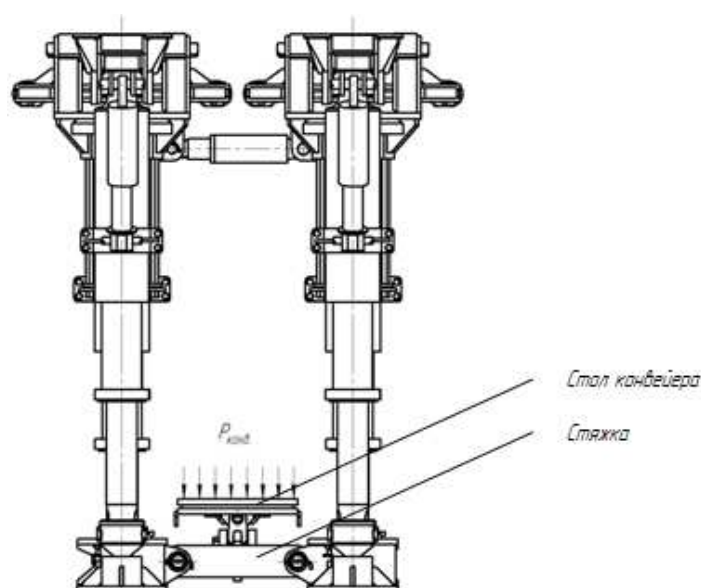


Рис. 2. Концептуальный вариант механизированной крепи сопряжения



Рис. 3. Модель детали «Стяжка»

Для соединения двух нижних балок крепи была разработана конструкция стяжки (рисунок 2). Данная деталь является тяжелонагруженной, т.к. кроме нагрузок от нижних балок на нее воздействует нагрузка от веса конвейера ($P_{конв}=150$ кН) и его привода (рисунок 2), которая передается через стол конвейера.

Деталь стяжка представляет собой сварную металлоконструкцию из стали 14ХГ2САФД. Модель детали «Стяжка» разработана с использованием программного обеспечения SolidWorks для дальнейшего изучения ее напряженно-деформированного состояния и проведения численного эксперимента методом конечных элементов (рисунок 3).

Механические свойства материала детали представлена в таблице 1.

Таблица 1

Механические свойства материала детали

Марка стали	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение A5, %	KCU, Дж/см ²
14ХГ2САФД	800	700	14	39

После разработки модели стяжки был проведен проверочный прочностной расчет для подтверждения прочности и надежности предлагаемой конструкции. Такого рода расчеты, представляющие собой численные эксперименты проводимые методом конечных элементов подразумевают использование специализированного программного обеспечение (в данном случае применялся SolidWorks Simulation) которое позволяет изучить напряженно-деформированное состояние детали с целью нахождения мест с критическими внутренними напряжениями, что поможет в дальнейшем, в случае получения отрицательных результатов, произвести доработку, усиление или изменение конструкции детали.

Для проведения численного эксперимента (расчета напряженно-деформированного состояния) разработана схема приложения нагрузок, применены граничные условия и создана сетка конечных элементов (рисунок 4.). Для материала детали задан предел текучести равный 700 МПа.



Рис. 4. Исходные данные для численного эксперимента:

а - схема приложения нагрузок и граничных условий, б - сетка конечных элементов

В качестве граничных условий (зафиксированная геометрия) были приняты три отверстия в проушинах стяжки, т.к. предусмотрели наиболее тяжелый случай нагружения в случае опоры на три точки, нагрузка приложена к осям воспринимающим нагрузку от стола, суммарная сосредоточенная нагрузка составляет 150 кН (рисунок 4а). При создании сетки конечных элементов применена высокая плотность, размер конечного элементов - 31,94 мм. Результаты расчета получены в виде эпюр и представлены на рисунке 5.

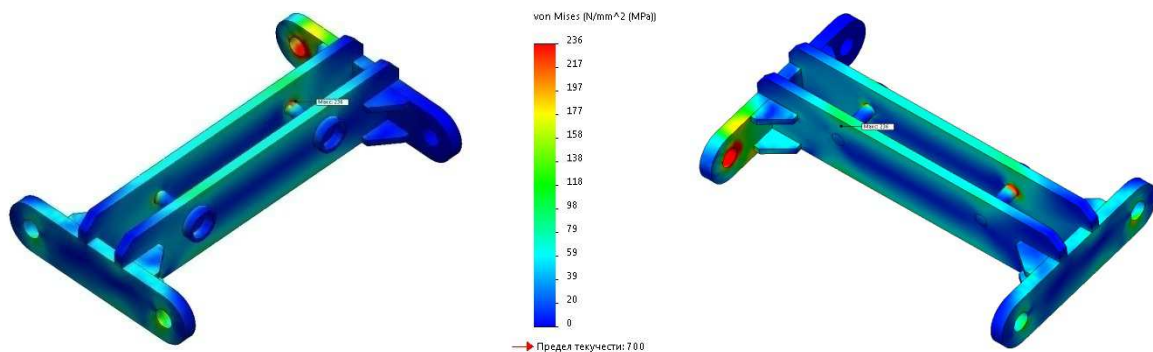


Рис. 5. Эпюры распределения напряжений по Мизесу по объему модели детали

По результатам исследования напряженно-деформированного состояния детали что возникающие в результате нагрузок воздействия вызывают максимальные напряжения по Мизесу порядка 236 МПа, расположение максимальных напряжений – в районе проушин с зафиксированной геометрией. Предел прочности материала детали не превышен и составляет 3,39. Согласно требованиями п. 6.1.6 ГОСТ 31561-2012 – элементы секции крепи должны иметь запас прочности не менее 1,5. В нашем случае, выбранный материал сталь 14ХГ2САФД имеет предел прочности 800 МПа, что удовлетворяет требованиям ГОСТ. Одновременно с этим мы видим, что напряжения возникающие в металлоконструкции имеют ограниченную глубину и площадь. Так же следует учесть, что контактные напряжения возникающие в пальцах крепления верхнего стола, по мере работы крепи будут уменьшаться из-за увеличения площади контакта сопрягаемых элементов.

Проведенные расчеты являются теоретическими и после предварительной оценки надежности конструкции в соответствии с требованиями ГОСТ 31561-2012 необходимо проведение испытаний на стенде, которые имитируют эксплуатационные условия с максимальным приближением их к шахтным для получения достоверных результатов по выявлению или подтверждению показателей качества крепи. Согласно п. 13.20.2 ГОСТ 31561-2012 - предусматривается два вида прочностных испытаний, в том числе с разовыми статическими нагрузками до значения не менее 1,2 и много-разовыми циклическими нагрузками до значения не менее.

Только после положительных результатов стендовых испытаний может быть принято решение о запуске изделия в производство и получение сертификата соответствия или заключения экспертизы промышленной безопасности.

Список используемых источников:

1. Бурков, П.В. Моделирование процесса испытания секции механизированной крепи МКЮ.2ш-26/53/ П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Юрга, 22–23 мая 2014 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 263-269.
2. Mine of system of calculations [Электронный ресурс] // Крепь сопряжения штрековая КСПЮ. [сайт]. [2022]. URL: <https://soc-mine.ru/note/note.php?l=116&> (дата обращения: 04.04.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БРОНЗЫ БРКМЦ 3-1 НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ДОБАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВОГО ФИЛАМЕНТА

А.В. Филиппов^а, к.т.н., с.н.с., Е.С. Хорошко, м.н.с., Н.Н. Шамарин, м.н.с.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81

E-mail: ^аavf@ispms.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований структуры и механических свойств бронзы БрКМц 3-1, напечатанной с добавлением алюминиевого филамента с помощью метода мультитрассового электронно-лучевого аддитивного производства. Методом оп-

тичеської металлографії досліджена структура матеріала. Механічні властивості встановлені шляхом проведення випробувань на розтягнення. В результаті встановлені особливості формування структури і її зв'язок з механічними властивостями напечатанного матеріала. Зміна типу структури і розміра зерна привело до значительного підвищенню пластичності зразків.

Ключеві слова: бронза, адитивне виробництво, мікроструктура, міцність.

Abstract. The results of experimental studies of the structure and mechanical properties of bronze Cu3Si1Mn printed with the addition of aluminum filament using the method of multiwire electron beam additive manufacturing are presented. The structure of the material was studied by the method of optical metallography. Mechanical properties are established by tensile tests. As a result, the features of structure formation and its relationship with the mechanical properties of the printed material were established. Changing the type of structure and grain size led to a significant increase in the plasticity of the samples.

Keywords: bronze, additive manufacturing, microstructure, strength.

Розвиток цифрових промислових технологій влечет за собою активне збільшення частки автоматизованого адитивного виробництва геометрично складних виробів [1]. Широкий потенціал по гнучкому управлінню і регулюванню процесами плавлення і подачі в зону печаті різних філаментів сприяють розширенню номенклатури виробів не тільки по принципу збільшення складності їх геометрії, але і можливості отримання деталей з нових конструкційних матеріалів. Нарощування об'ємів досліджень в цій області сприяє досягненню цілі створення бази знань для побудови технологій адитивного виробництва різноманітних виробів з різних матеріалів з необхідними характеристиками структури, фізико-механічних і хімічних властивостей. При використанні філаментів з різноманітних металів перед дослідниками і інженерами виникає задача вибору необхідних параметрів печаті, до яких в першу чергу відносяться: підводима енергія, забезпечуюча плавлення філамента, і швидкість формування шару, яка суттєво впливає на кристалізацію матеріала. В разі печаті виробів з моно матеріала ця задача як правило вирішується відносно простою підбором цих параметрів на основі даних про температуру плавлення використовуваного металу або сплаву, а також деякими експериментальними спробами, доводящими результат до оптимального значення. Однак, в разі печаті виробів з декількох матеріалів і тим більше з різноманітних матеріалів складність підбору режимів плавлення філамента і формування кожного окремого шару суттєво зростає. Одним з поширених матеріалів в судобудуванні і хімічній промисловості є кремнієва бронза. Для розширення області її застосування, а також підвищення фізико-механічних властивостей її потрібно легірувати алюмінієм. В наше час такої бронзи в вигляді стандартного сорту не випускається. Тому, немає можливості по її використанню як стандартного філамента при печаті. В зв'язі з цим і на основі можливостей сучасних адитивних технологій, виникла об'єктивна можливість печаті виробів з такої легірованої бронзи за рахунок використання двох філаментів. Метою даної роботи є експериментальне дослідження впливу додавання алюмінієвого філамента до бронзи БрКМц 3-1 в процесі електронно-променевого адитивного виробництва на структуру і механічні властивості напечатаних зразків.

Для проведення експериментальних досліджень були напечатані тонкостінні зразки бронзи БрКМц 3-1 з застосуванням мультитрунної технології електронно-променевого адитивного виробництва. Схема методики печаті бронзи з додаванням алюмінієвого філамента показана на малюнку 1. Суть методики полягає в подачі в зону плавлення двох трун з різною швидкістю їх подачі, що забезпечує контроль процесу легірування матеріала в процесі його печаті. Для печаті використовувалися труни бронзи БрКМц 3-1 і алюмінію АА1070. Відношення швидкостей подачі трун, з вказаних сплавів, складає 10 до 1, що забезпечує додавання до бронзи ~10 вагових часток алюмінію. Оскільки електронно-променева печаті здійснюється в умовах високого вакууму, зменшується ймовірність окислення матеріала в процесі його виробництва, що вигідно впливає на якість виробів. З напечатаних тонкостінних зразків вирізані фрагменти для проведення структурних досліджень і механічних випробувань методом розтягнення. Структура досліджена на металлографічному мікроскопі Метам. Травлення здійснювалось в водному розчині хлорного заліза. Механічні випробування виконані на універсальній випробувальній машині TestSystem. Швидкість розтягнення складала 1 мм/хв.

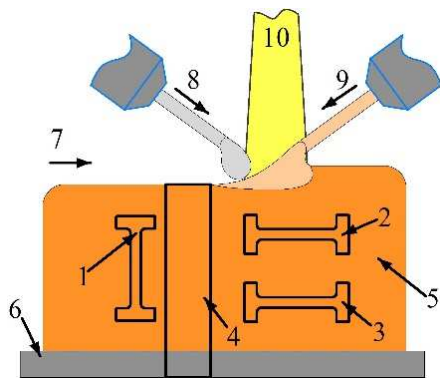


Рис. 1. Схема печати образцов из бронзы БрКМц 3-1 с добавлением алюминиевого филамента при электронно-лучевом аддитивном производстве: 1, 2 и 3 – образцы для механических испытаний; 4 – образец для металлографии; 5 – напечатанная бронза; 6 – стальная подложка; 7 – траектория перемещения изделия в процессе печати; 8 – траектория подачи проволоки AA1070; 9 – траектория подачи проволоки БрКМц3-1; 10 – электронный луч.

32% и 57% в верхней и нижней части напечатанной стенки, соответственно. Из полученных данных следует, что основное различие между образцами, вырезанными из разных участков напечатанной стенки, состоит в их пластичности.

На рисунке 2 а представлены металлографические изображения структуры напечатанной бронзы. В нижней части наблюдается мелкоячеистая структура с выраженным направлением роста по вертикали. Это указывает на низкую скорость кристаллизации материала в этой части образца. В средней и верхней частях наблюдается смешанная структура, состоящая из мелкоячеистых дендритов и рекристаллизованных зерен с близкой к равноосной формой и большим числом двойников отжига. Это указывает на более высокую скорость кристаллизации, а также отжиг материала из-за термоциклирования при построении последовательно наносимых слоев.

На рисунке 2 б представлены диаграммы растяжения образцов, вырезанных из напечатанной стенки. Предел прочности при растяжении материала в вертикальном направлении 434 МПа, в горизонтальном направлении 426 и 446 в верхней и нижней части напечатанной стенки, соответственно. Условный предел текучести при растяжении материала в вертикальном направлении 203 МПа, в горизонтальном направлении 202 и 169 в верхней и нижней части напечатанной стенки, соответственно. Относительное удлинение до разрушения при растяжении материала в вертикальном направлении 21%, в горизонтальном направлении

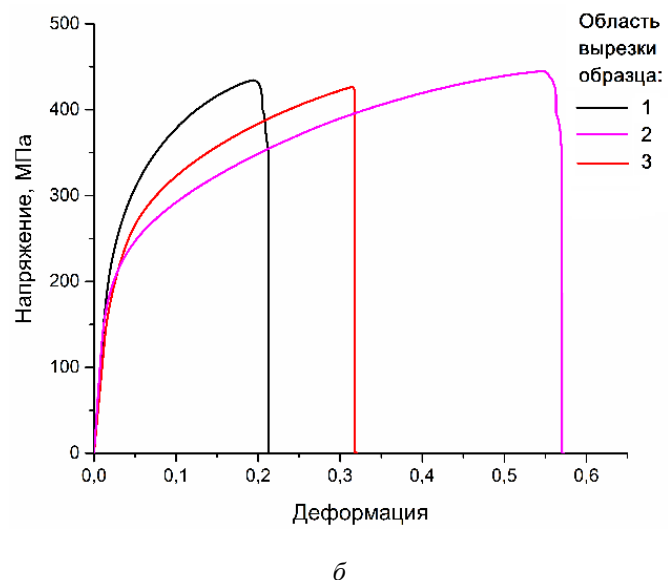
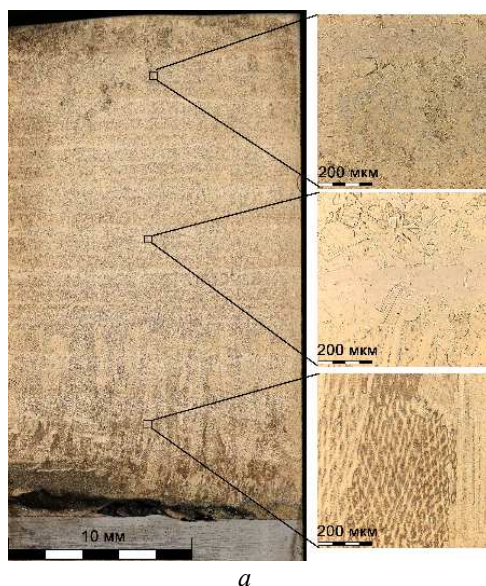


Рис. 2. Структура напечатанного образца бронзы БрКМц 3-1 с добавлением алюминиевого филамента (а), диаграммы растяжения образцов (б)

Выводы

В работе продемонстрирован пример успешного получения образцов из бронзы БрКМц 3-1 с добавлением алюминиевого филамента с использованием мультипроволочной технологии элек-

тронно-лучевого аддитивного производства. Исследована структура и установлены механические свойства нового материала.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00084, <https://rscf.ru/project/21-79-00084/>.

Список используемых источников:

1. Murr LE. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. Addit Manuf 2015;5:40–53. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.002>.

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОГО
МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ,
ПОЛУЧЕННОГО МЕХАНИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ**

*М.А. Химич^{1,2,a}, к.т.н., м.н.с., Е.А. Ибрагимов³, к.т.н., ст. преподаватель,
В.В. Чебодаева¹, к.т.н., м.н.с.*

*¹Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук,
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4*

*²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36*

*³Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: khimich@ispms.ru*

Аннотация. С целью предотвращения формирования неоднородностей химического состава в объеме 3D-образцов сплава *Co-Cr-Mo* получаемых селективным лазерным сплавлением, была предпринята попытка установления оптимального режима термообработки порошкового материала. Порошок был получен механическим легированием в аргоне в течение 30 минут. Оптимальной термообработкой является изотермический отжиг в диапазоне температур 350–425 °С.

Ключевые слова: *Co-Cr-Mo* сплавы, селективное лазерное сплавление, некоммерческий порошок, термообработка.

Abstract. In order to prevent the formation of inhomogeneities of the chemical composition in the bulk of 3D-samples of the *Co-Cr-Mo* alloy obtained by laser powder bed fusion, an attempt was made to establish the optimal mode of heat treatment of the powder material. The powder was obtained by mechanical alloying in argon during 30 minutes. The optimal heat treatment is isothermal annealing in the temperature range of 350–425 °C.

Keywords: *Co-Cr-Mo* alloys, laser powder bed fusion, non-commercial powder, thermal treatment.

Сплав, содержащий 66 мас. % *Co*, 28 мас. % *Cr* и 6 мас. % *Mo* (*CoCrMo*) – один из жаропрочных, коррозионно- и износостойких сплавов, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах и при высоких температурах, также используемый и в качестве материала для производства имплантатов [1]. Порошковые композиции, применяемые в селективном лазерном сплавлении (СЛС), должны удовлетворять ряду требований: сферическая форма частиц, размер частиц, фазовый и элементный состав и т.д. В настоящее время порошки системы *Co-Cr-Mo*, отвечающие требованиям СЛС, производятся и могут быть приобретены в России в компании «Полема» (Тула) [2]. Такой порошок представлен частицами, имеющими требуемый состав, распределение по размерам в диапазоне 20–70 мкм, фазовым составом (стабилизированная высокотемпературная γ -фаза) со сферической или сфероподобной формой частиц. Такой комплекс характеристик обычно получают методами сфероидизации.

Метод механического легирования позволяет формировать порошковый материал, который отвечает большинству требований к порошкам для СЛС, требующий существенно меньших финансовых и энергетических затрат, в сравнении с методами сфероидизации [3]. Варьирование продолжительности механической обработки порошка приводит к изменению химического и фазового составов, структуры и свойств конечного изделия, получаемого СЛС [4]. Ранее нами сообщалось о результатах поиска оптимального режима механического легирования порошкового материала и последующей термообработки формируемых СЛС-объектов [5–7]. Формирование 3D-объектов селектив-

ным лазерным сплавлением из неkomмерческих порошков – комплексная задача, требующая различных технологических решений на каждом из этапов реализации.

Как уже сообщалось [5,6] при использовании для СЛС порошка, сформированного механическим легированием, можно «вырастить» объемные 3D-образцы сплава *Co-Cr-Mo* в многофазном состоянии и с неравномерным распределением осадений оксида хрома по объему полученного объекта. Из литературных данных известно, что устранить неоднородности химического и фазового состава можно путем подобранного режима термообработки порошкового материала и СЛС-образца [8].

В настоящей работе была предпринята попытка установить оптимальный режим термообработки порошка для СЛС, полученного механическим легированием, который бы позволил предотвратить формирование неоднородностей химического состава в получаемых 3D-объектах сплава *Co-Cr-Mo*.

В качестве исходного материала использовался порошок, полученный из элементарных кобальта, хрома и молибдена механическим легированием в защитной атмосфере аргона в течение 30 минут, как это было описано в [5,6]. Для установления режимов термообработки порошок подвергался термогравиметрическому и дифференциальному сканирующему калориметрическому анализу на приборе NETZSCH STA 409 PC/PG. Порошок помещался в корундовый тигель. Нагрев осуществлялся в диапазоне температур 25-1350 °C в защитной атмосфере чистого аргона. Скорость нагрева составила 10 °C/мин. Элементный состав порошка после термообработки исследовался методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) на растровом электронном микроскопе LEO EVO 50.

На рисунке 1 представлены ТГ-ДСК кривые, полученные в результате температурных исследований механически легированного порошка. Куполообразная часть ДСК-кривой соответствует фазовому превращению $\gamma \rightarrow \varepsilon$. Небольшой подъем ТГ-кривой в интервале 25-100 °C соответствует поглощению порошком остаточных газов в камере. Плавный спуск в интервале 350-425 °C соответствует их высвобождению, а последующий подъем после температуры 450 °C – активное поглощение порошком остаточных газов, доля которых в камере не снижается в связи с их присутствием в самом защитном газе – аргоне. Как можно видеть, ЭДС позволяет идентифицировать небольшое количество кислорода на поверхности частиц порошка (рис. 1 б, в). Его доля не превышала 5 мас. %. Распределение кобальта, хрома и молибдена в порошке равномерно по всему объему.

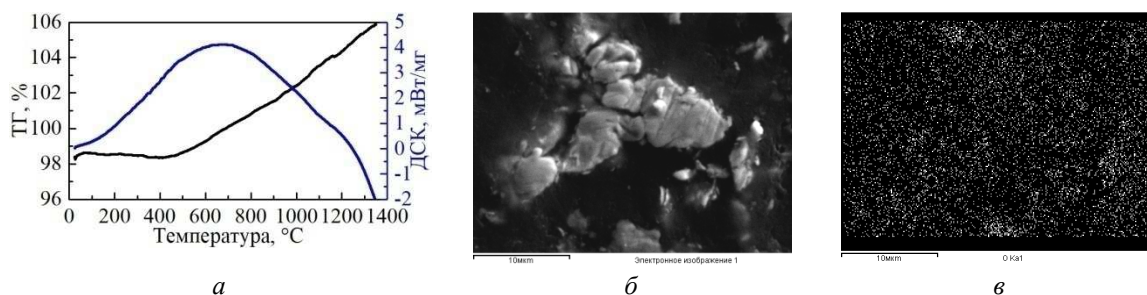


Рис. 1. ТГ-ДСК кривые (а), РЭМ-изображение шлифов поверхности частиц (б) и карта распределения кислорода (в) порошка *Co-Cr-Mo*, полученного механическим легированием в *Ar* в течение 30 минут

Заключение

Предпринята попытка установления оптимального режима термообработки порошкового материала для селективного лазерного сплавления, полученного механическим легированием в защитной атмосфере аргона в течение 30 минут. Оптимальным режимом термообработки порошка является изотермический отжиг в диапазоне температур 350-425 °C.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0004.

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.т.н. Н.А. Сапрыкиной, к.т.н. А.А. Сапрыкину, к.т.н. В.И. Яковлеву, к.х.н. Е.А. Вайтулевич и д.ф.-м.н. профессору Ю.П. Шаркееву.

«Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН» и в Томском материаловедческом центре коллективного пользования.

Список используемых источников:

1. Wei D., Koizumi Y., Chiba A., Ueki K., Ueda K., Narushima T., Tsutsumi Y., Hanawa T. Heterogeneous microstructures and corrosion resistance of biomedical Co-Cr-Mo alloy fabricated by electron beam melting (EBM) // Additive Manuf. 2018. 24. 103–114. Doi 10.1016/j.addma.2018.09.006.
2. Полема. Акционерное общество [электронный ресурс] // 2022. <http://www.polema.net> (Дата обращения: 10.04.2022).
3. Zhuravleva K., Scudino S., Khoshkhoo M.S., Gebert A., Calin M., Schultz L., Eckert J. Mechanical Alloying of β -Type Ti-Nb for Biomedical Applications // Adv. Eng. Mater. 2013. 15(4). 262–266. Doi 10.1002/adem.201200117.
4. Kovalevskaya Zh.G., Sharkeev Yu.P., Khimich M.A., Korchagin M.A., Bataev V.A. Ti-Nb powder alloys in the additive technologies // Nanosci. Technol. Int. J. 2017. 8(3). 203–210. Doi 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.v8.i3.30.
5. Khimich M.A., Ibragimov E.A., Chebodaeva V.V., Saprykin A.A., Saprykina N.A., Sharkeev Yu.P. Comparison the Preparation Methods of Powder Feedstock for Laser Powder Bed Fusion // Solid State Phenomena. 2022. 328. 63–71. Doi:10.4028/p-7tc3od.
6. Khimich M.A., Ibragimov E.A., Yakovlev V.I., Tolmachev A.I., Chebodaeva V.V., Uvarkin P.V., Saprykina N.A., Saprykin A.A., Sharkeev Yu.P. Structure and Phase Composition of Additive Co-Cr-Mo Alloy Affected by the Duration of Mechanical Alloying the Composite Powder // AIP Conference Proceedings. 2022. 2509, 020104. Doi: <https://doi.org/10.1063/5.0084867>.
7. Khimich M.A., Ibragimov E.A., Tolmachev A.I., Chebodaeva V.V., Uvarkin P.V., Saprykina N.A., Saprykin A.A., Sharkeev Yu.P. Influence of thermal treatment duration on structure and phase composition of additive Co-Cr-Mo alloy samples // Letters on Materials. 2022. 12(1). 43–48. Doi: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2022-1-43-48>.
8. Polozov I, Sufiiarov V., Popovich A., Masaylo D., Grigoriev A. Synthesis of Ti-5Al, Ti-6Al-7Nb, and Ti-22Al-25Nb alloys from elemental powders using powder-bed fusion additive manufacturing // J. Alloy. Compd. 2018. 763. 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.325>

**ПОРОШКОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ
МЕДИЦИНСКОГО СПЛАВА**

*М.А. Химич^{1,2,a}, к.т.н., м.н.с., Е.А. Ибрагимов³, к.т.н., ст. преподаватель,
А.А. Сапрыкин⁴, студент*

*¹Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук,
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4*

*²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36*

*³Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*⁴Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: ^akhimich@ispms.ru*

Аннотация. Описаны результаты поискового эксперимента по формированию 3D-объектов селективным лазерным сплавлением из некоммерческого порошка. Порошок для 3D-печати был получен многократным просеиванием элементных порошков Fe, Ti и Cu. Получен пористый 3D-образец с локальными участками повышенных концентраций Ti и Cu. Использованный порошок может быть применен для проведения дальнейших экспериментов по формированию 3D-объектов селективным лазерным сплавлением.

Ключевые слова: 3D-сплавы, медицинские сплавы, селективное лазерное сплавление, некоммерческий порошок.

Abstract. Searching experiment results connected with the formation of 3D-objects by laser powder bed fusion from non-commercial powder are described. Powder for 3D-printing was produced by multiple sieving of elemental Fe, Ti and Cu powders. Porous 3D-sample with local areas of increased Ti and Cu con-

centrations was produced. Applied powder could be used for subsequent experiments connected with the formation of 3D-objects by laser powder bed fusion.

Keywords: 3D-alloys, alloys for medicine, laser powder bed fusion, non-commercial powder.

Наиболее распространенным металлическим материалом, используемым в имплантации, является титан и его сплавы, имеющие ряд недостатков, таких как низкая прочность и коррозионная стойкость, слишком высокие значения модуля упругости, содержание элементов, токсичных для организма, а также малая пластичность [1,2]. Известны разные способы повышения физико-механических свойств *Ti*-сплавов: формирование ультрамелкозернистой и наноразмерной зеренной структуры, формирование многокомпонентных сплавов со стабилизированной β -фазой [3,4]. Железо – стабилизатор β -фазы в *Ti*. Добавление Fe в состав *Ti*-сплава приводит к уменьшению размеров зерна, росту доли β -фазы, увеличению коррозионной стойкости, твердости и предела прочности на разрыв, а также снижению модуля упругости [5]. С увеличением концентрации Fe в *Ti-Fe* сплавах растёт и сопротивление коррозии [6], а добавка титана к железу увеличивает предел текучести и измельчает размер зерна.

Для снижения рисков возникновения инфекции при имплантации, используются модификации состава сплава, которые обеспечивают антибактериальный эффект, например – медью. В человеческом организме медь необходима для усвоения железа. В [7] описано формирование СЛС промежуточного слоя из *Cu*-сплава между слоями титана и нержавеющей стали с целью предотвращения формирования интерметаллидных фаз *Ti-Fe*.

На сегодняшний день предпринимаются попытки формирования *Ti*-сплавов со стабилизированной β -фазой без токсичных компонентов путем применения аддитивных технологий, которые призваны снизить количество расходуемого материала [8]. Аддитивные технологии, в частности, селективное лазерное сплавление (СЛС), получили широкое применение в области создания изделий для имплантации. Благодаря своим технологическим особенностям СЛС позволяет формировать многокомпонентные сплавы, имеющие требуемый уникальный комплекс физико-механических свойств. Однако, при формировании систем сплавов, еще не получивших широкое применение, методом СЛС, например, *Ti-Fe-Cu*, возникает проблема поиска порошкового материала, который был бы пригоден для подобного использования.

Известны работы, в которых в качестве сырьевого материала для СЛС использовались смеси элементных порошков, полученные механическим перемешиванием, активацией, легированием или просеиванием [9]. Использование порошков несферической формы, безусловно, вносит свой вклад в получаемые 3D-объекты, их свойства и структуру, однако, корректно подобранные режимы СЛС позволяют сформировать изделия, не уступающие по своим свойствам объектам, полученным из коммерческих сферических порошков.

В настоящей работе в качестве исходных материалов использовались порошки технически чистых титана, железа и меди. Частицы порошка титана имели неправильную форму (рис. 1а). Их размер не превышал 80 мкм, а фазовый состав был представлен фазой α -*Ti*. Порошок железа состоял из крупных агломератов, размер которых варьировался в пределах 20-200 мкм (рис. 1б). Фазовый состав был представлен α -*Fe*. Частицы порошка меди имели вытянутую неправильную форму с развитой морфологией (рис. 1в). Их больший размер не превышал 150 мкм, а меньший – 50 мкм. Фазовый состав был представлен единственной фазой – *Cu*. Путем многократного просеивания указанных порошков была получена механическая смесь, которая использовалась при СЛС.

СЛС осуществлялось на установке ВАРИСКАФ-100МВС. Мощность лазера составила 100 Вт, шаг сканирования – 100 мкм, скорость сканирования – 400 мм/с. СЛС осуществлялось в предварительно вакуумированной камере, заполненной аргоном. Т.к. проведенный эксперимент носил поисковый характер, требовалось максимально снизить затраты на расходные материалы, в связи с чем в качестве материала основы был выбран порошок железа, как имеющий самую низкую стоимость. Титан и медь брались в равных количествах – 5 мас. %.

Как можно видеть на рисунке 1 г, в сформированном СЛС-образце присутствуют поры (пористость 15 об. %), наличие которых не является недостатком, т.к. развитая пористость является одним из требований, предъявляемых к материалам для имплантации. В объеме образца встречаются локальные участки с повышенными концентрациями титана и меди, что связано с неравномерным распределением компонентов в исходном порошковом материале. Для формирования 3D-объекта с равномерным распределением компонентов требуется предварительная обработка порошкового материала, а для изменения пористости – варьирование параметров СЛС.

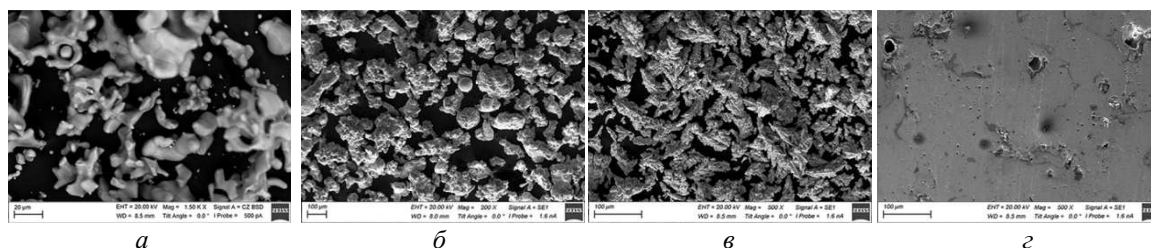


Рис. 1. РЭМ-изображения исходных порошков титана (а), железа (б), меди (в) и поверхности СЛС-образца (г)

Заключение

Из элементарных порошков Fe, Ti и Cu был получен порошковый материал, использованный в СЛС. Сформированный 3D-объект имел неоднородный элементный состав и развитую пористость. Для формирования 3D-объекта с равномерным распределением компонентов требуется предварительная обработка порошкового материала, а для изменения пористости – варьирование параметров СЛС.

Работа проведена в рамках выполнения Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов, грант № МК-4486.2022.4.

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.т.н. А.А. Сапрыкину и д.ф.-м.н. профессору Ю.П. Шаркееву.

Список используемых источников:

1. Elias C.N., Lima J.H.C., Valiev R. et al. Biomedical applications of titanium and its alloys // JOM. 2008. 60. 46–49. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-008-0031-1>.
2. He G., Lo W., Eckert J.. In situ formed Ti-Cu-Ni-Sn-Ta nanostructure-dendrite composite with large plasticity // Acta Materialia. 2003. 51. 5223–5234. Doi: 10.1016/S1359-6454(03)00386-0.
3. Zhou Y.L., Niinomi M., Akahori T., Fukui H., Toda H. Corrosion resistance and biocompatibility of Ti-Ta alloys for biomedical applications // Materials Science and Engineering A. 2005. 398. 28–36. Doi: 10.1016/j.msea.2005.03.032.
4. Niinomi M. Fatigue performance and cyto-toxicity of low rigidity titanium alloy, Ti-29Nb-13Ta- 4.6Zr // Biomaterials. 2003. 24. 2673–2683. Doi: 10.1016/S0142-9612(03)00069-3.
5. Qi P., Li B., Wang T., Zhou L., Nie Z.. Microstructure and properties of a novel ternary Ti-6Zr-xFe alloy for biomedical applications // Journal of Alloys and Compounds. 2021. 854. 157119. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157119>.
6. Niu J., Guo Y., Li K., Liu W., Dan Z., Sun Z., Chang H., Zhou L. Improved mechanical, bio-corrosion properties and in vitro cell responses of Ti-Fe alloys as candidate dental implants // Materials Science & Engineering C. 2021. 122. 111917. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.111917>.
7. Tey C.T., Tan X., Leong Sing S., Yeong W.Y. Additive manufacturing of multiple materials by selective laser melting: Ti alloy to stainless steel via a Cu-alloy interlayer // Additive Manufacturing. 2020. 31. 100970. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100970>.
8. Aydogmus T., Kareem D., Palani H., Kelen F. Processing of porous β -type Ti74Nb26 alloys for biomedical applications // Journal of Alloys and Compounds 2021. 872. 159737. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159737>.
9. Polozov I., Sufiiarov V., Popovich A., Masaylo D., Grigoriev A. Synthesis of Ti-5Al, Ti-6Al-7Nb, and Ti-22Al-25Nb alloys from elemental powders using powder-bed fusion additive manufacturing // J. Alloy. Compd. 2018. 763. 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.325>

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОПАТОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

С.В. Малыш¹, аспирант, Л.З. Чаугарова², аспирант, И.М. Ковенский^{3,а}, д.т.н., профессор

^{1,2,3}Тюменский индустриальный университет

625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38, тел. 8(3452) 28-36-11

E-mail: ^akovenskijim@tyuiu.ru

Аннотация. рассмотрены микроструктуры сплава лопаток на бандажной полке и входной кромке в зависимости от наработки и наличия/отсутствия керамического слоя, используемого в серийных теплозащитных покрытиях.

Ключевые слова: газотурбинные лопатки, керамическое теплозащитное покрытие, микроструктура, упрочняющая γ' -фаза, охрупчивающая σ -фаза.

Abstract. the microstructures of the blade alloy on the shroud and the leading edge are considered depending on the operating time and the presence/absence of the ceramic layer used in serial heat-shielding coatings.

Keyword: gas turbine blades, ceramic heat-shielding coating, microstructure, hardening γ' -phase, embrittling σ -phase.

Рабочие лопатки (РЛ) является сложной и дорогостоящей деталью газотурбинного двигателя. Она предназначена для того, чтобы под воздействием давления потока газов преобразовать кинетическую энергию в механическую работу по приводу.

Для РЛ применяются теплозащитные покрытия, обеспечивающие снижение температуры тела лопатки и защищающие поверхность металла от коррозионно-эрозионного воздействия агрессивной среды продуктов сгорания топлива.

Целью работы являлось определение изменения микроструктуры сплава лопаток на бандажной полке и входной кромке в зависимости от наработки и наличия/отсутствия керамического слоя.

Объекты исследования - рабочие лопатки 1 ступени ТВД ДГ90, отобранные с 5 разных двигателей, по 2 шт. с двигателя: одна лопатка с наличием керамического слоя на бандажной полке, вторая без покрытия (рисунок 1). Данные о лопатках представлены в таблице 1.

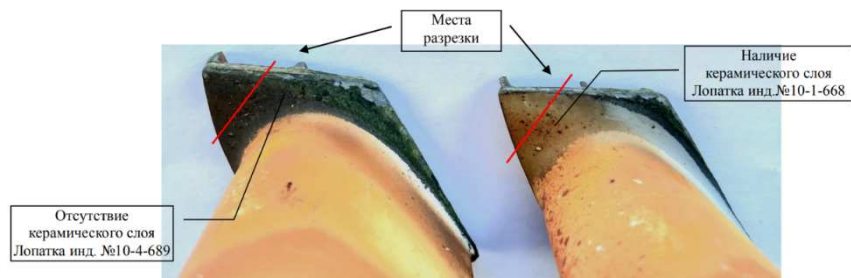


Рис. 1. Общий вид бандажных полок

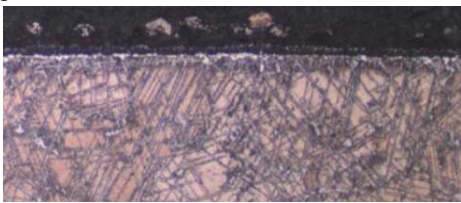
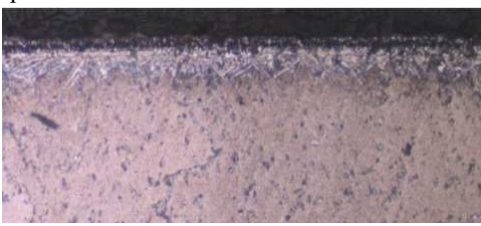
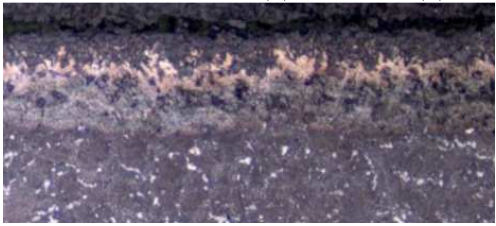
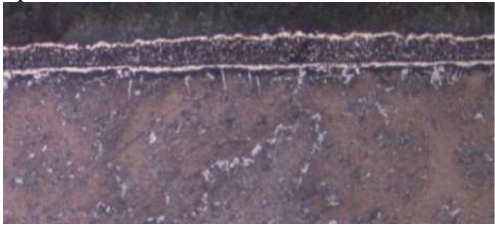
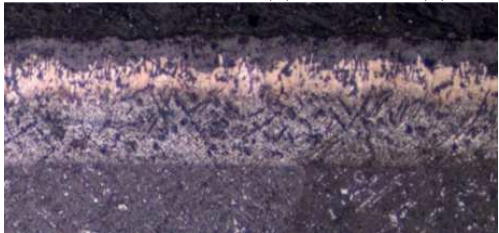
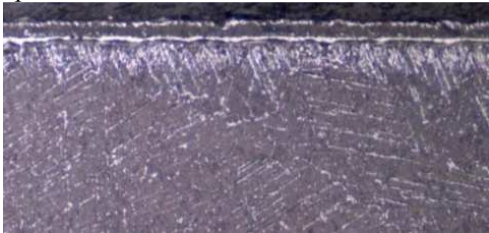
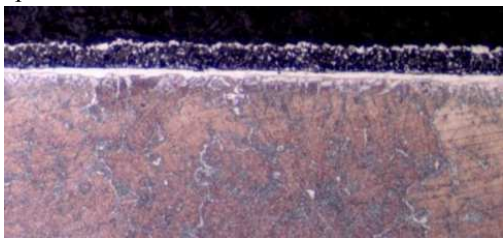
Таблица 1

Данные о лопатках

№ двигателя	Наработка, ч	Инд. номер лопатки	Наличие/отсутствие керамического слоя
Д19060051л	25984	13-3-64	отсутствует
		12-4-1208	есть
Д19080267л	30004	6-2-1051	отсутствует
		6-3-802	есть
Д19040018п	33290	12-1-148	отсутствует
		12-1-174	есть
Д19030350л	32039	12-1-1283	отсутствует
		12-3-1302	есть
Д19010306	33041	10-4-689	отсутствует
		10-1-668	есть

В процессе исследования были осуществлены следующие виды работ:

- пробоподготовка для анализа микроструктуры;
- анализ микроструктуры бандажных полок всех лопаток;
- анализ микроструктуры входных кромок двух лопаток инд. № 6-2-1051, № 12-1-174 в месте сколов покрытия. (Данные исследования проводились с участием Латынцевой А.Е)

Двигатель № Д19060051л, наработка 25984 ч.:	
	
лопатка инд. № 13-3-64	лопатка инд. № 12-4-1208
Двигатель № Д19080267л, наработка 30004 ч.:	
	
лопатка инд. № 6-2-1051	лопатка инд. № 6-3-802
Двигатель № Д19040018п, наработка 33290 ч.:	
	
лопатка инд. № 12-1-148	лопатка инд. № 12-1-148
Двигатель № Д19030350л, наработка 32039 ч.:	
	
лопатка инд. № 12-1-1283	лопатка инд. № 12-3-1302
Двигатель № Д19010306, наработка 33041 ч.:	
	
лопатка инд. № 10-4-689	лопатка инд. № 10-1-66
<i>а</i>	<i>б</i>
Рис. 2. Микроструктура бандажных полок с наличием/отсутствием покрытия, увеличение x200, а – без керамики, б – с керамикой	

Для проведения металлографического исследования была осуществлена вырезка образцов от всех поступивших на исследование лопаток (место вырезки приведено на рисунке 1). Использовался реактив Марбле (250 мл хлороводородной кислоты HCl + 50 г сульфата меди $CuSO_4$ + 250 мл воды H_2O). Микроструктура материала изучалась при помощи светового микроскопа ZEISS AXIO Observer.D1m при увеличениях от $\times 50$ до $\times 1000$.

В результате металлографического анализа установлено, что бандажные полки лопаток без керамического покрытия имеют существенное изменение микроструктуры в виде обгара, окисление поверхности и растворения упрочняющей γ' -фазы в приповерхностном слое (таблица 2).

При изучении микроструктуры бандажных полок с керамопокрытием следов обгара, окисления материала, растворения упрочняющей фазы не обнаружено.

В дальнейшем по сечению «парные» (снятые с одного двигателя) лопатки имеют схожую между собой структуру, характерную для сплава ЧС88У-ВИ после эксплуатации. На лопатках с двигателей Д19060051л, Д19030350л, Д19010306 обнаруживаются выделения охрупчивающей σ -фазы (таблица 2). Изменения микроструктуры бандажных полок приведены на рисунке 2.

Таблица 2

Глубина структурных изменений, наличие/отсутствие σ -фазы

№ двигателя	Инд. номер лопатки	Наличие/отсутствие слоя	Глубина, мкм	σ -фаза
Д19060051л	13-3-64	отсутствует	85-100	обнаружена
	12-4-1208	есть	отсутствует	
Д19080267л	6-2-1051	отсутствует	150-300	обнаружена
	6-3-802	есть	отсутствует	
Д19040018п	12-1-148	отсутствует	100-120	обнаружена
	12-1-174	есть	отсутствует	
Д19030350л	12-1-1283	отсутствует	100-120	обнаружена
	12-3-1302	есть	отсутствует	
Д19010306	10-4-689	отсутствует	175-200	обнаружена
	10-1-668	есть	отсутствует	

Дополнительно проводилось исследование состояния материала входных кромок пера лопаток, на которых присутствуют сколы покрытия.

При просмотре микроструктуры лопатки инд. № 12-1-174 наблюдалось изменение структуры только в центральной части скола, в месте скола отсутствует подслои. На лопатке № 6-2-1051 в месте скола отсутствует подслои, изменений структуры основного материала не обнаружено.

Таким образом:

1. Бандажные полки лопаток без керамического покрытия имеют существенное изменение структуры в виде обгара и окисленного слоя глубиной от 85 до 300 мкм, с растворением упрочняющей γ' -фазы в приповерхностном слое.
2. Бандажные полки с керамическим покрытием не имеют следов обгара, окисления материала, растворения упрочняющей фазы.
3. Лопатки, отобранные с одного двигателя, имеют схожую между собой структуру, характерную для сплава ЧС88У-ВИ после эксплуатации. На лопатках с двигателей Д19060051л, Д19030350л, Д19010306 просматриваются выделения охрупчивающей σ -фазы.
4. В месте скола керамического слоя на входной кромке лопатки № 12-1-174 отсутствует металлический подслои, изменения микроструктуры имеют место только в центральной части скола.

Список используемых источников:

1. Чубаров Д. А., Матвеев П. В. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-keramicheskie-materialy-dlya-teplozaschitnyh-pokrytiy-rabochih-lopatok-gtd>.

ОБРАБОТКА НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

А.А. Ласуков, к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

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

тел (384-51)-77764, E-mail: lasukow@tpu.ru

Аннотация. Никелевые сплавы широко внедряются в производство, благодаря их специфическим свойствам. Однако, эти же свойства затрудняют их обработку. Стойкость инструмента снижается, приходится работать на низких скоростях резания, что снижает производительность обработки. В статье рассмотрена обработка различными инструментальными материалами. Показано, как меняются условия обработки в зависимости от инструмента. Рассмотрены виды износа при работе с разными инструментальными материалами.

Ключевые слова: никелевый сплав, режущий инструмент, износ инструмента.

Abstract. Nickel alloys are widely introduced into production due to their specific properties. However, these same properties make them difficult to process. Tool life is reduced, you have to work at low cutting speeds, which reduces machining productivity. The article considers the processing of various instrumental materials. It is shown how the processing conditions change depending on the tool. The types of wear when working with different tool materials are considered.

Keyword: nickel alloy, cutting tool, tool wear.

Никелевые сплавы играют чрезвычайно важную роль. Их широко применяют в авиационной, аэрокосмической, морской промышленности, они используются в газовых турбинах, ракетных двигателях, на подводных лодках и т.д. Это объясняется их особыми свойствами работать при высоких температурах, а также эти материалы имеют хорошие коррозионные свойства, высокую прочность, что вызывает проблемы при их обработке. Они известны как труднообрабатываемые материалы.

Еще некоторые особенности сплавов на основе никеля, которые ухудшают их обрабатываемость [1, 2]. Они сохраняют высокую прочность при высоких температурах, при резании быстро образуется наклеп поверхностного слоя, что является основным фактором, способствующему износу инструмента, имеют высокое химическое сродство ко многим инструментальным материалам. Режущие инструменты подвергаются абразивному износу из-за присутствия в сплавах твердого абразива в виде карбидов. При высоких температурах происходит химическая реакция между инструментом и обрабатываемым материалом из-за родства материалов (особенно при работе инструментом в исходном состоянии: без покрытия, без поверхностной обработки), что приводит к высокой скорости прилипания никелевых сплавов на режущий инструмент и приводит к его выкрашиванию (вплоть до появления трещин).

Инструменты из твердого сплава по-прежнему широко используют при обработке никелевых сплавов. Указанные свойства данных сплавов ограничивают их обработку скоростями резания 10÷30 м/мин, т.к. при возникающих температурах у обычного твердого сплава начинает выгорать кобальт (950-960С°) и инструмент теряет режущую способность [3]. Инструменты из твердого сплава по-прежнему широко используют при обработке никелевых сплавов. Для того, чтобы увеличить ресурс инструмента, применяют различного рода покрытия. Неплохие результаты дает покрытие TiN . В работе [4] рассматривали обработку никелевого сплава Inkonel 718 твердосплавным инструментом с однослойными и многослойными покрытиями с охлаждением. Здесь же показано, что покрытие TiN дает хорошие результаты, но инструмент с покрытием $TiAlN$ и $TiCN$ работал значительно лучше, чем инструмент с покрытием TiN . Отмечена отличная производительность инструмента с покрытием $TiAlN$ (рисунок 1).

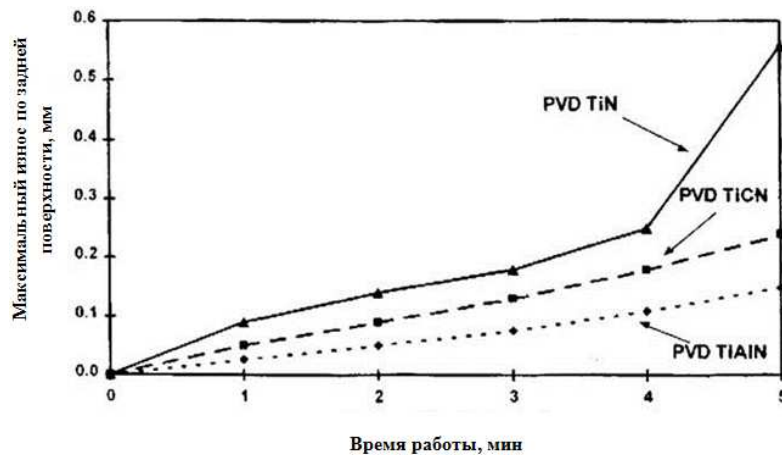


Рис. 1. Зависимость максимального износа по задней поверхности от времени работы при обработке Inkonel 718 ($V = 46$ м/мин, $t = 1,5$ мм, $S = 0,15$ мм/об)

Причем инструменты с покрытием $TiAlN$ демонстрируют меньший износ по задней поверхности, чем инструменты с покрытием $TiCN$ и инструменты с покрытием TiN . Поскольку материал инструмента был одинаковым, то наблюдаемые различия в сроке службы инструмента и поведении его при износе было приписано покрытиям. Покрытия повышают износостойкость и могут снизить силы резания и температуру на режущей кромке инструмента и тем самым косвенно влияют на деформацию и разрушение инструмента. Покрытие $TiAlN$ имеет значительно более высокую твердость, что повышает устойчивость к абразивному износу, кроме того оно обладает хорошей химической стабильностью при высоких температурах. Стабильность является результатом склонности покрытия $TiAlN$ к формированию внешнего защитного слоя Al_2O_3 и промежуточного слоя, содержащего титан, алюминий, кислород и азот во время операции механической обработки, что приводит к более высокой стойкости к окислению. К тому же у покрытия $TiAlN$ самая низкая теплопроводность среди рассмотренных, что должно привести к снижению температуры на вершине инструмента. Также применяются нанослойные многослойные покрытия (например, $TiN/AlTiN$) [6], которые дают лучший эффект. Как говорят авторы, вероятно, это связано с лучшим скольжением стружки и понижением температуры резания с этим покрытием. Высокая твердость нанослойного покрытия $TiN/AlTiN$ обеспечивает лучшую стойкость к абразивному износу, чем классические многослойные и однослойные покрытия. Устойчивость к высоким температурам включения $AlTiN$ обеспечивает лучшую устойчивость к адгезии, чем нанослойное покрытие CrN/TiN . Инструмент с нанослойным покрытием показал и самую высокую стойкость среди испытуемого инструмента при скорости резания 40 м/мин. Таким образом, подбирая покрытия, можно влиять на процесс обработки, достигая необходимого результата.

Для высокоскоростной обработки никелевых сплавов (скорость резания свыше 50 м/мин) применяется керамический инструмент. К преимуществам керамических инструментов относятся высокая термическая стойкость (что и позволяет использовать их при высоких скоростях резания), устойчивость к абразивному износу и коррозии, жаропрочность и низкое химическое сродство, что приводит к более длительному сроку службы по сравнению с твердосплавными инструментами. Основными недостатками керамических инструментов являются их хрупкость и низкая теплопроводность.

В работе [5] показывается, что керамические инструменты из чистого оксида ($Al_2O_3 + ZrO_2$) не дают должного эффекта при обработке сплавов на основе никеля, несмотря на их хорошую химическую стабильность, высокую жаропрочность и высокую износостойкость. Такое поведение оксидной керамики объясняют их плохой сопротивляемостью к перепаду температур, низкой устойчивостью к механическим воздействиям при повышенной температуре, низкой ударной вязкостью. В этом отношении лучше себя ведет смешанная керамика ($Al_2O_3 + TiC$), которая превосходит чистый оксид [5]. Как показывают авторы керамический инструмент $Al_2O_3 + TiC$ наиболее устойчив к никелевым сплавам. Это объясняется его большей износостойкостью при высоких температурах на больших скоростях резания. Применение смешанной керамики позволило достичь скорости резания 120÷240 м/мин, что почти в десять раз больше, чем при работе инструментом из твердого сплава. Были предприняты попытки использования керамики с покрытиями [7]. Так на керамику SiC , арми-

рованного нитевидным кристаллом Al_2O_3 , нанесли покрытия CrN и $TiAlN$. Скорости резания составляли уже 300, 400 и 530 м/мин. Опять керамика с покрытием $TiAlN$ показала наилучшие результаты. Это можно объяснить свойствами $TiAlN$, которые были рассмотрены выше.

Специально разработаны для обработки никелевых сплавов керамические инструменты из оксида алюминия, армированные нитевидными кристаллами SiC [8]. При использовании этих инструментов при обработке никелевых сплавов достигались высокие скорости резания (200÷750 м/мин) и большие подачи (0,125÷0,375). При этом и механические испытания показали, что керамика из оксида алюминия, армированная нитевидными кристаллами SiC наиболее пригодна в качестве инструмента для обработки сплавов на основе никеля. Кубический нитрид бора хоть и показывает неплохие результаты, однако его высокая стоимость (примерно в десять раз больше твердосплавных инструментов) ограничивает его применение.

Список используемых источников:

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
2. E.O. Ezugwu, Z.M. Wang, A.R. Machado, The machinability of nickel-based alloys: a review, *Journal of Materials Processing Technology* 86 (1999) 1–16.
3. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. Тюмень: Вектор Бук, 2003, - 190с.
4. P.C. Jindal, A.T. Santhanam, U. Schleinkofer, A.F. Shuster, Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 17 (1999) 163–170.
5. E.O. Ezugwu, S.H. Tang, Surface abuse when machining cast iron and nickel base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools, *Proc. 9th Irish Manuf. Conf.*, Dublin, Sept. 1992, pp. 436–450.
6. A. Jawaid, S. Koksai, S. Sharif, Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy, *Journal of Materials Processing Technology* 116 (2001) 2–9.
7. A. Gatto, L. Iuliano, Advanced coated ceramic tools for machining superalloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 37 (5) (1997) 591–605.
8. Enzhao Cui, Jun Zhao, Xuchao Wang, Shiping Song Cutting performance, failure mechanisms and tribological properties of GNP's reinforced $Al_2O_3/Ti(C,N)$ ceramic tool in high speed turning of Inconel 718, *Ceramics International* 46 (2020) 18859–18866.

БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП ВОЗВЕДЕНИЯ ОБДЕЛКИ, ПРИ РАБОТЕ ТПМК НА БАЗЕ ГЕОХОДА

А.А. Казанцев^{1,2}, к.т.н., доцент, Яровой С.Е.¹, студент

¹ Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» в г. Губкине Белгородской области, Россия, г. Губкин

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, г. Старый Оскол

Аннотация. Рассмотрен базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов, приведены ключевые отличия проведения выработки тоннеля по геоходной технологии, предложен базовый принцип возведения тоннельной обделки за геоходом с учетом ключевых отличий.

Ключевые слова. Тоннелепроходческий комплекс. ТПМК. Тоннельная обделка. Монтаж обделки. Геоход. Геоходная технология.

Annotation. Basic principle of operation in modern TBM complexes have been presented, key issues of advancing TBM with geokhod type shield have been undertaken and basic principle of lining installation have been proposed.

Keywords. Tunnel boring machine. TBM. Tunnel lining. Instalation of tunnel lining. Geokhod. Geokhod's technology.

Базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов заключается в продвижении стальной цилиндрической оболочки (щита) вдоль оси прокладываемого тоннеля и одновременном удалении горной массы. Стальная оболочка удерживает давление горного массива (горное давление) и выступает в роли временной крепи до момента установки постоянной крепи (обделки). Щит проталки-

вается вперед вдоль оси тоннеля на расстояние эквивалентное удаленному объему горной массы. Необходимые напорные усилия создаются системой толкающих щит гидроцилиндров, упирающихся в возводимую обделку. Это означает, что тоннельная обделка и тоннелепроходческий щит со всем его оборудованием должны быть увязаны между собой как совместно зависящая система.

Образовавшаяся в результате ведения горнопроходческих работ полость в массиве горных пород, в особенности в наносах, ввиду естественных физических законов с течением времени стремится самоликвидироваться. Поэтому технически невозможно сооружать обделку тоннеля без наличия определенных зазоров между обделкой и приконтурным массивом горных пород. Образованный зазор между обделкой и приконтурным массивом заполняется тампонажным раствором чтобы минимизировать просадку земной поверхности. Поэтому тампонажная система или система нагнетания тампонажного раствора за обделку является неотъемлемой частью современных тоннелепроходческих комплексов [1].

В процессе работы тоннелепроходческого комплекса выработанное пространство поддерживается стенками щита, тоннельной обделкой и тампонажным раствором по всей трассе тоннеля, но забойная часть также может потребовать специальных мер удержания в зависимости от горно-геологических условий вдоль трассы тоннеля. Однако в данной статье эти вопросы рассматриваться не будут, сделаем допущение что эти системы функционируют отдельно, как и в современных ТПМК.

Рассмотрим базовый принцип возведения обделки за геогодом с выделенным внешним двигателем в виде лопастного винта, взаимодействующего с геосредой (приконтурным массивом горных пород) [2].

С учетом ранее рассмотренных вопросов о видах применяемой тоннельной обделки [3, 4] и особенностей геогодной технологии [5-8] можно остановиться на четырех ключевых моментах:

1. используется блочная обделка в виде набора разных по форме сегментов, образующих кольцо (преимущественно прямоугольные сегменты и замыкающий сегмент);
2. используется блочная обделка в виде сегментов одного и того же размера (унифицированных), образующих форму близкую к кольцевой (гексагональная обделка) или спирали (винтовая обделка).
3. отличие в способе формирования напорного усилия на исполнительном органе – в рассматриваемом примере у геогода отсутствуют гидроцилиндры напора, однако, в данном случае, взаимовлияющим фактором, вероятно, будет шаг внешнего движителя, поэтому ширина блока обделки должна быть пропорциональна шагу внешнего движителя;
4. наличие законтурных каналов, сформированных внешним двигателем и элементами противовращения, которые: а) необходимо тампонировать, б) возможно использовать для коррекции диаметра проводимой выработки, радиуса трассы тоннеля и затем тампонировать.

С учетом данных особенностей, известных компоновках ТПМК и при любых видах обделки можно предположить, что для геогодной технологии блокоукладчик и связанные с ним системы должны располагаться либо на борту ТПМК на базе геогода, либо представлять из себя независимый модуль, перемещающийся вслед за геогодом, например, для снижения требований к тяговому усилию геогода, что может быть критично для работы в неустойчивых породах.

Учитывая также, что устойчивая скорость проходки тоннелей современных ТПМК достигла цифры в 800 м/сутки [9, 10], несомненно, все операции проходческого цикла должны производиться в совмещенном режиме. Вопросы целостности межвиткового целика от продвигающегося геогода также пока рассматривать не будем, примем допущение о том, что он сохраняется.

Итак, базовый принцип возведения обделки за геогодом, в его компоновке, приближенной к модели 401 будет заключаться в следующем:

Под защитой стальной оболочки (юбки), которая удерживает горное давление и выступает в роли временной крепи до момента установки постоянной, продвигающейся в подземное пространство синхронно с геогодом блокоукладчик возводит блоки постоянной крепи. Стальная оболочка на наружной ее поверхности, вероятно имеет профиль винтовой поверхности, близкий к профилю внешнего движителя для минимизации просадок земной поверхности, направленный в приконтурный массив [11, 12]. В этом смысле внешний движитель геогода, вероятно, должен иметь непрерывную винтовую линию и сопрягаться с профилем наружной поверхности стальной оболочки (юбки), либо располагаться непосредственно на ней. Так или иначе для выполнения этого условия можно заключить, что компоновка геогода должна быть с приводом на хвостовую секцию и здесь у нас также есть минимум два рассматриваемых варианта:

1. Хвостовая секция вращается вместе с движителем и юбкой.

2. Хвостовая секция и юбка не вращающаяся, привод движителя организован по принципу подшипника скольжения.

При вращающейся стальной оболочке (первый вариант) в хвостовой части геохода возможно использование унифицированных фасонных блоков обделки, имеющих на наружной поверхности профиль (ребро жесткости), близкий к профилю внешнего движителя геохода, устанавливаемых соответственно по винтовой линии. Вся внутренняя поверхность стальной оболочки или ее часть, сопрягаемая с блоками обделки, также вероятно, должна иметь внутреннюю винтовую поверхность. Скорость возведения таких блоков должна быть синхронизирована со скоростью вращения стальной оболочки, при этом следующий блок должен быть установлен на место до выхода внутренней винтовой линии оболочки из сопряжения с последним установленным блоком. Внутренняя винтовая линия может служить не только ориентиром, но и фасонным профилем с захватом, облегчающим монтаж последующего блока (местом установки блока). Система тампонажа приконтурного пространства и ее компоновка должна быть идентичной системам, применяемым в современных ТПМК. Щетки уплотнения должны работать по винтовой линии и охватывать некоторое количество блоков, предварительно установленных. Здесь компоновка должна будет иметь явные отличия хотя и схожий принцип герметизации внутреннего пространства тоннеля. Таким принципом можно решить вопрос о частичном (имеется ввиду что полнота заполнения будет достигаться непрерывным и контрольным тампонирующим) заполнении винтовых каналов ребрами жесткости унифицированных блоков в приконтурном массиве, получающихся от систем внешнего движителя, но не продольных каналов элементов противовращения (антикрыла). Отсюда делаем вывод – для снижения объемов тампонирующего продольных законтурных каналов антикрыла их должно быть не более одного, а его (канала) форма – щелевого типа.

При невращающейся стальной оболочке (второй вариант) в хвостовой части геохода использование унифицированных фасонных блоков обделки, имеющих на наружной поверхности профиль, близкий к профилю внешнего движителя геохода не просматривается. В этом случае установка блоков будет мало чем отличаться от современной схемы, однако вопрос о тампонирующем столь больших объемов приконтурного пространства ранее нами не рассматривался. Поэтому использование закладных элементов, подаваемых через отверстие в стальной оболочке в винтовой и продольный канал здесь может иметь место. Система закладных элементов, окружающая обделку будет дополнительно выполнять роль армировки приконтурного массива. А при реализации алгоритмов осеблочного ее монтажа еще и базовой поверхности монтажа блоков обделки тоннеля. Таким принципом можно решить вопрос о частичном заполнении и винтовых, и продольных каналов приконтурного массива.

Список используемых источников:

1. Bernhard Maidl, Markus Thewes, Ulrich Maidl. Handbook of tunnel engineering. Volume I: Structures and Methods © 2013 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany ISBN: 978-3-433-03048-6
2. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Геоходы - основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники. В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А., 2016. С. 277-288.
3. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Садовец В.Ю. Разработка требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии. Горное оборудование и электромеханика. 2021. – №4 (156). С. 37-44.
4. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Дортман А.А. Обзор существующих типов крепи горных выработок и анализ их возможности применения в геовинчестерной технологии. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 130-137.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блашук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к основным системам геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 5. с. 3-7.
6. Дронов А.А., Блашук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39-42.
7. Дронов А. А. Требования к узлу сопряжения секций геохода / А. А. Дронов // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, 24–26 мая 2018 г., Юрга. – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – с. 288-290.

8. Aksenov V.V., Beglyakov V.Y., Kazantsev A.A., Doroshenko I.V. Substantiating Ways of Load Application When Modeling Interaction of a Multiincisal Mining Machine Actuator With Rocks // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012032 doi:10.1088/1757-899X/127/1/012032
9. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/28716/robbins-double-shield-tunnel-boring-machine-is-conquering-the-himalayas> Robbins Double Shield tunnel boring machine is conquering the Himalayas. – July 26, 2018
10. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/22320/rossaga-main-beam-sets-norwegian-milestone> Røssåga Main Beam sets Norwegian milestone – December 17, 2015
11. Федунец Б.И., Мазеин С.В. Оснащение щита для минимизации осадки земной поверхности грунтопригрузом тоннелепроходческого механизированного комплекса // Метро и тоннели. – 2016. – №2. – С.4-6.
12. Мазеин С.В., Прудников А.Д., Лехт В.В. Проектные решения по минимизации осадки земной поверхности грунтопригрузом тоннелепроходческого механизированного комплекса // Метро и тоннели. – 2016. – №3. – С.6-9.
13. Казанцев А.А. Создание опытного образца геохода. План-график реализации основной стадии проекта // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Д.М. Дубинкин. 2018. С. 223-227.
14. Казанцев А.А. Создание опытного образца геохода. Временной фактор изготовления компонентов и их сборки в конечное изделие // Инновационные технологии в машиностроении Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. 2018. С. 273-276.

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Е.П. Теслева, к. ф.- м. н., доц., К.В. Кожевникова, студ.

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

Аннотация. Рассматривается использование портативных анализаторов металлов для контроля качества продукции при производстве ферросилиция.

Ключевые слова: производство ферросилиция, контроль качества ферросилиция, портативный анализатор металлов.

Abstract. The use of portable metal analyzers for product quality control in the production of ferrosilicon is considered.

Keyword: production of ferrosilicon, ferrosilicon quality control, portable metal analyzer.

В процессе эксплуатации печи при производстве ферросилиция возможны различные отклонения от нормального режима работы печи. Каждое технологическое расстройство печи сопровождается повышенным потреблением электроэнергии, а так же отклонениями в качестве и количестве выплавляемого ферросилиция. Это связано с большим количеством комбинаций дестабилизирующих факторов, которые приводят к технологическому расстройству печи.

Например, на потребление энергии и скорость плавки влияет режим работы электродов, состав шихты, посадка электродов, и еще более двух сотен параметров [1]. Достижение наилучшего режима работы затруднено из-за большой инерционности схода шихты. Получение оптимальных режимов работы может быть достигнуто ручным вмешательством технологов предприятия в процесс работы печи. На любом предприятии известны параметры оптимального режима работы печи, но часто, при значительном износе оборудования, из-за несвоевременного получения результатов химического анализа выплавленного металла, недостаточной способности оценить влияние множества факторов, отсутствия прогнозирования ситуации и ее последствий – решения, которые принимают специалисты, не позволяют достигать необходимых показателей производства.

Контролер на печах контролирует чистоту отбора проб, зачистку изложниц, укладку блочков, сбор, подготовку, маркировку проб, контроль металла после сбора в тару по выпускам с занесением в технологические журналы. В его обязанности входит доставка проб в экспресс-лабораторию инженерного корпуса и др. Результат на влагу и кремний возможно получить быстро в экспресс-

лаборатории при цехе, все остальные показатели определяются в рентгеноспектральной лаборатории, причем анализ на кальций, выполняется только в дневное время.

Таблица 1

Химические элементы, указываемые в сертификате качества
на ферросилиций марки ФС70

Химический состав, %							
Si	Cr	Mn	Al	C	Ca	S	Ti
72,7	0,116	0,205	0,2	0,017	0,1	0,003	0,116

Например, согласно технологической инструкции, во время выпуска металла из печи производится отбор проб ферросилиция для технологического контроля химического состава исходного металла. Из печи отбирается две пробы: для определения «горячего» содержания кремния и для определения «горячего» содержания алюминия и кальция данного выпуска. Массовая доля кремния определяется лаборантом экспресс-лаборатории, находящейся непосредственно в цехе (время определения несколько минут). Пробу на алюминий и кальций контролер отдела технического контроля относит в рентгеноспектральную лабораторию, которая располагается вне цеха с периодичностью один раз за два выпуска. В результате оперативность получения результатов химических анализов снижается, занимая до 3,5 часов, в том числе и из-за отсутствия пневмопочты, поэтому корректировка отклонения хода печи, а так же несоответствие выплавляемого металла по таким важным показателям как алюминий и кальций, оговариваемые заказчиками, откладывается на несколько выпусков.

Возникает необходимость, не увеличивая численность контролирующего персонала, ускорить процесс получения результатов анализа выплавляемого металла, а также повысить качество отгружаемой готовой продукции и сырья используемого для футеровки печей.

Для решения данной проблемы можно использовать портативные устройства контроля (анализаторы). Производители приборов контроля предлагают множество портативных устройств, которые можно использовать как для моментального контроля выплавки, а значит своевременного обнаружения технологических расстройств печи, и корректировки хода, так и для контроля качества готовой продукции на этапе дробления, тарирования и погрузки. Данные устройства дают возможность полностью исключить вероятность попадания металла не соответствующего требованиям контрактов и договоров и соответствующих претензий потребителей, как следствие – сохранить положительную репутацию предприятия на рынке металлов.

Принцип работы портативных устройств практически не отличается от стационарных. Однако стационарные устройства громоздкие и требуют специальных навыков обращения. Научится же работать с портативными устройствами проще. Вес таких приборов небольшой, в среднем 1,5–2 кг, заряженной батареи хватает на непрерывную работу в течение нескольких часов. Прибор снабжен жидкокристаллическим дисплеем, на котором отражается информация о составе в виде обозначений, используемых в химии. У приборов есть возможность хранить и накапливать информацию, в том числе, результаты выполненных анализов и фотографии. Существует два основных вида анализаторов металлов и сплавов:

- лазерный, использующий метод оптической эмиссионной спектроскопии;
- рентгеновский, использующий метод рентгеновской флуоресцентной спектроскопии [2].

Стоимость анализаторов зависит от нескольких основных параметров:

- тип устройства,
- точность,
- набор элементов, которые измеряет прибор,
- страна-производитель.

Самые дорогие приборы – японские и европейские, высокая цена на которые объясняется не только стоимостью производства, но также новейшими технологиями, таможенными сборами и статусом. Лидеры продаж [3]:

«Olympus Corporation» – японская компания, специализирующаяся на изготовлении оптики, фототехники, высококачественного оптического оборудования. Анализаторы данной фирмы пользуются популярностью, так как считается надежными и находятся в средней ценовой категории [4].

«FPI» (Focused Photonics Inc) – китайская компания, специализирующаяся на производстве систем для контроля за экологией окружающей среды. Портативные анализаторы металлов данной фирмы также пользуются спросом, потому что несколько дешевле, чем у основных конкурентов.

«Bruker» – немецкая компания, хорошо известный производитель оборудования для молекулярного анализа и исследования состава материала. Оборудование данной фирмы высокого качества и широко представлено на рынке России.

Существует также ряд отечественных производителей, занимающихся разработкой и производством анализаторов, которые стоят заметно дешевле:

НПП «Структурная Диагностика» разработала отечественный анализатор – спектрометр металлов ЛИС-01 [5].

«Лазер-Экспорт» – ручной анализатор металлов и сплавов ЭЛАНИК, способный измерять концентрацию углерода (до 0,01%) в сталях одновременно с другими элементами на воздухе, без использования инертного газа [6].

«Южполиметалл-Холдинг» выпускает портативный спектрометр МетЭксперт для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах, в том числе магниевых, алюминиевых, нержавеющей, конструкционных, специальных изделий [7].

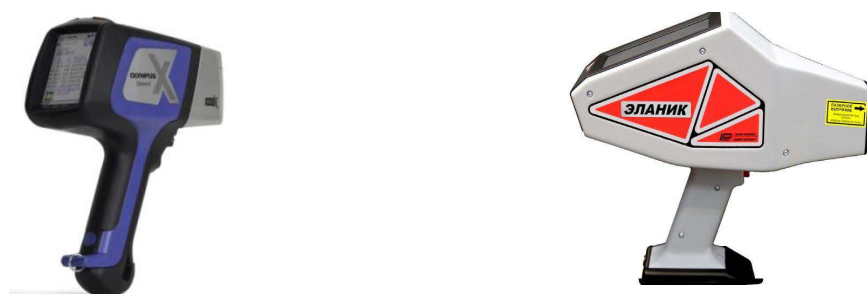


Рис. 1. Анализаторы Olympus DELTA Element (Япония) и Эланик (Россия)

Таким образом, использование портативных анализаторов металлов дает возможность быстро и с высокой точностью оценить качество и подтвердить марку ферросплава, выпускаемого предприятием. Имея один или два прибора в пределах цеха можно оптимизировать рабочий процесс трех подразделений (литейного цеха, отдела технического контроля и аналитической лаборатории). Повышение точности прогнозирования изменений или повышение скорости реагирования на непрогнозируемые изменения приведут к существенному повышению эффективности производства. Насколько оправданы инвестиции в технологии можно судить, сопоставляя цену на оборудование с ценой полученного брака, из-за неправильного определения состава готовой продукции.

Список используемых источников:

1. Типичные случаи расстройств технологического хода печей, выплавляющих ферросилиций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ara5.ru/tipichnye-sluchai-rastrojstv-tekhnologicheskogo-khoda-pechejj-vyplavljjajushhikh-ferrosilicijj/>
 2. Анализатор металла с углеродом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stal-kom.ru/analizator-metalla-s-uglerodom/>
 3. Анализаторы металлов и сплавов: цены, виды, принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rcycle.net/metally/analizatory-metallov-i-splavov-tseny-vidy-printsip-raboty>
 4. Olympus Vanta [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://olympusxray.ru/shop/olympus-vanta-c/>
 5. Портативный лазерный анализатор металлов ЛИС-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nppsd.ru/>
 6. Многоэлементный количественный экспресс-анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elanik.com/>
- МетЭксперт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metexpert.ru/production>

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА
ДЛЯ ГИБРИДНО-СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

*Р.Д. Каримов, доцент, к.т.н., М.А. Берлова, студент гр. Э-418,
Д.А. Каюмов, студент гр. Э-418, И.М. Ахмедьянов студент гр. ЭЭ-117М
Уфимский государственный авиационный технический университет,
450077, Респ. Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12
E-mail: "berlov.mihail@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается конструкция гибридно-силовых установок, в частности последовательной конфигурации. Проектирование электрической машины в составе гибридно-силовой установки выполнено на примере магнитоэлектрического генератора в программном комплексе Ansys RMxprt. Оценка проведена исходя из значения КПД и удельной мощности генератора.

Ключевые слова: Гибридно-силовая установка, магнитоэлектрический генератор, авиация.

Abstract. In this paper, the design of hybrid power plants, in particular sequential configuration, is considered. The design of an electric machine as part of a hybrid-power plant is carried out on the example of a magnetoelectric generator in the Ansys RMxprt software package. The assessment was carried out based on the efficiency value and the specific power of the generator.

Keyword: Hybrid-power plant, magnetoelectric generator, aviation

Основной текст

На сегодняшний день в авиации поставлена задача найти способ снижения вредных выбросов в атмосферу. По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) на авиацию приходится 3% выбросов углекислого газа. Прирост парниковых газов во всем мире в долгосрочной перспективе ожидается в среднем на 4–5% ежегодно. Если не будут приняты меры по контролю за этим, ИКАО ожидает, что выбросы примерно утроятся к 2050 году, что будет составлять 25% мировых выбросов углерода [1]. Перспективными направлениями в решении данного вопроса являются электрические и гибридно-электрические самолеты. Создание полностью электрического самолета на данный момент затруднено в связи с отсутствием подходящего устройства хранения электроэнергии. Современные аккумуляторные батареи имеют недостаточный объем для применения их как источника энергии при дальних полетах, а также высокие массогабаритные показатели, что неприемлемо в авиации. По этой причине самолеты с гибридно-электрической установкой в качестве двигателя кажутся более доступными в исполнении. Однако уже существуют действующие модели небольших полностью электрических самолетов, которые успешно прошли испытания. Среди них Bye Aerospace eFlyer 2, Solar Impulse 2, Airbus E-Fan, Extra EA 330LE-Siemens, White Lightning, Lilium.

Гибридная силовая установка (ГСУ) представляет из себя связку теплового двигателя и электрической машины. С помощью этой технологии достигается снижение расхода топлива, а также падает количество выбросов в атмосферу. ГСУ может выполняться в трех конфигурациях: последовательной, параллельной, смешанной или с распределением мощности. Каждая из этих конфигураций обладает своими достоинствами и недостатками. В данном исследовании была выбрана последовательная схема включения ГСУ. В последовательной конфигурации винт приводится в движение непосредственно от электрической машины. Химическая энергия топлива преобразуется в механическую энергию, а затем в электрическую с помощью генератора и, наконец, хранится в батареях. Затем накопленная энергия подается в электрическую машину, которая вращает винт для создания движущей силы.

Ключевым звеном, как это можно заметить, является электрическая машина. Она должна обладать приемлемыми массогабаритными показателями и высокой эффективностью, так как КПД всей установки будет зависеть от эффективности её отдельных частей. Для таких целей лучше всего подойдет синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов, так как подобные электрические машины обладают повышенной удельной мощностью, а их КПД превышает 90%.

Рассмотрим методику расчета магнитоэлектрического генератора для ГСУ в программном комплексе Ansys RMxprt. В качестве основных технических данных принимаем следующие значения (таблица 1).

Таблица 1

P , кВт	U , В	n , об/мин	m	p	Тип магнитов
1200	800	20000	3	8	$SmCo_{24}$

На начальном этапе расчетов необходимо определиться с основными габаритными размерами и материалами, которые будут использованы для изготовления активных частей машины. К основным размерам относятся диаметр расточки статора и максимальный диаметр ротора.

Диаметр расточки статора вычисляется по формуле (1), которая выводится из формулы машинной постоянной Арнольда:

$$D_1 = \sqrt{\frac{60 \cdot 10^{10} \cdot \frac{P}{\cos \varphi}}{\alpha \cdot \pi^2 \cdot k_{об} \cdot k_e \cdot A \cdot B_\delta \cdot L \cdot n}} \quad (1)$$

Максимальный диаметр ротора вычисляется по формуле (2):

$$D_2 = \frac{c_1}{n_{\max}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot g}{\rho \cdot k_a}} \quad (2)$$

Длину активной части машины рекомендуется принимать в 2-3 раза больше, чем максимальный диаметр ротора [2].

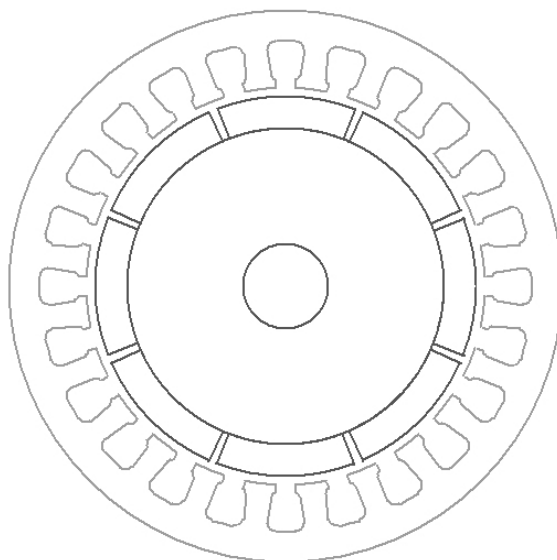


Рис. 1. Эскиз магнитоэлектрического генератора выполненный в Ansys RMxprt

По окончании расчетов переходим к моделированию, используя RMxprt. Полученный в результате эскиз модели представлен на рисунке 1.

Для проверки точности вычислений RMxprt проведем сравнение полученных значений в программе и при аналитическом расчете (таблица 2).

Таблица 2

Параметр	Аналитический расчет	Расчет в RMxprt
Мощность, кВт	1200	1213
Момент вращения, Н·м	573	579,08
Частота вращения, об/мин	20000	20000
Напряжение, В	800	803,41
Активная длина, мм	534	534
Внешний диаметр статора, мм	248	248
Диаметр расточки статора, мм	184	184
Частота тока, Гц	1333	1333
Ток, А	899,69	960,42

Параметр	Аналитический расчет	Расчет в RMXprt
КПД, %	98,5	99,5
Плотность тока, А/мм ²	12	11,78
Линейная нагрузка, А/м	56030	59812
Число пазов статора	24	24
Потери в стали статора, Вт	4942	5671,22
Масса ПМ, кг	31,95	31,95
Масса обмотки, кг	13,67	14,16
Масса магнитопровода статора, кг	65,03	66,12
Масса железа ротора, кг	59,78	61,84
Активная масса, кг	170,43	174,07

Заключение

Поскольку программный расчет в Ansys RMXprt дает достаточно близкие значения по сравнению с аналитическим расчетом, можно сделать вывод, что моделирование в данном программном комплексе соответствует необходимым требованиям. В процессе проектирования магнитоэлектрического генератора удалось добиться КПД равного 98% и удельной мощности равной 6,96 кВт/кг (для активной части). К примеру, для концепта самолета N3-X от Boeing и NASA требуется удельная мощность не менее 13,7 кВт/кг [3]. Получение таких параметров машины возможно при дальнейшей оптимизации конструкции.

Список используемых источников:

1. Brandon Graver, Kevin Zhang, Dan Rutherford CO₂ emissions from commercial aviation, 2018 // The International Council on Clean Transportation. 2021. URL: <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018> (дата обращения: 10.04.2022).
2. Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е. Высокооборотные электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами: учеб. пособие. – М.: Издательство «Инновационное машиностроение», 2017. 248 с.
3. Jansen R H, Brown G V, Felder J L and Duffy K P 2015 Turboelectric aircraft drive key performance parameters and functional requirements Proc. 53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf., AIAA Propulsion and Energy Forum.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ВНУТРЕННИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ЛИТОЙ КОРПУСНОЙ ДЕТАЛИ

В.А. Татаринцев, к.т.н., доц.

*Брянский государственный технический университет
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д.7
e-mail: v_a_t52@mail.ru*

Аннотация. В литых деталях встречаются технологические дефекты литья различной природы, расположения, очертания и размеров. Существует необходимость оценки степени опасности внутренних литейных дефектов, что позволит производить отбраковку деталей, в частности, автосцепок при дефектоскопическом контроле на заводах-изготовителях. Разработан метод расчета надежности автосцепок с усталостными трещинами при перегрузках. Дана оценка степени опасности внутренних дефектов в литых деталях.

Ключевые слова: разрывы, литейные дефекты, усталостная трещина, автосцепка, методика расчета.

Abstract. In cast parts there are technological defects of casting of various nature, location, shape and size. There is a need to assess the degree of danger of internal casting defects, which will allow the rejection of parts, in particular, auto couplings during flaw inspection at manufacturing plants. A method for calculating the reliability of auto couplings with fatigue cracks during overloads has been developed. An assessment of the degree of danger of internal defects in cast parts is given.

Keywords: breaks, casting defects, fatigue crack, auto coupling, calculation method.

Известно, что в литых деталях вагонов (в том числе и корпусе автосцепки) нередко встречаются технологические дефекты литья различной природы, расположения, очертания и размеров. Анализ харак-

тера литейных внутренних дефектов проводился на основе испытаний автосцепок на разрыв и информации, полученной по актам о разрывах литых корпусов автосцепок в поездах. Установлено, что:

- наиболее часто внутренние дефекты литья наблюдаются в зоне перехода от головы к хвостовику (35 % изломов в этой области имели дефекты, в то время как в зонах перемышки и стержня хвостовика наблюдалось соответственно 24 и 19 % изломов, имеющие внутренние дефекты);
- в изломах рассматриваемой опасной зоны (переход от головы к хвостовику), главным образом (до 70%), наблюдаются усадочные раковины и менее 8% изломов имели наиболее опасные трещинообразные литейные дефекты;
- раковины имеют форму близкую к эллиптической и чаще всего (до 82 %) располагаются в верхней полке со стороны малого зуба;
- размеры раковин могут достигать до 15 % площади излома.

Попытаемся дать оценку степени опасности литейных раковин, расположенных в верхней полке со стороны малого зуба, как наиболее часто встречающегося вида внутренних дефектов литья в переходной зоне автосцепки.

Степень опасности дефекта зависит от уровня напряженности в месте его залегания, остроты границ и свойств металла в окрестностях дефекта. Так как в автосцепке напряжения максимальны на ее наружной поверхности, то, как правило, внутренние дефекты менее опасны, чем поверхностные. Очевидно, по этой причине в изломах автосцепок встречаются внутренние дефекты размерами до 15 % площади излома, не развивавшиеся в процессе эксплуатации, а причиной разрушения являются усталостные трещины, образовавшиеся в этом же сечении на поверхности в местах наибольших напряжений. Однако возможны случаи, когда источником разрушения становятся внутренние литейные дефекты. В связи с этим возникает необходимость оценки степени их опасности. Это позволит производить отбраковку автосцепок при дефектоскопическом контроле на заводах-изготовителях.

Очевидно, что литейный дефект недопустим, если

$$P_{\text{деф}}(t_0) \leq [P(t_0)],$$

где $P_{\text{деф}}(t_0)$ – надежность детали с дефектом за нормативное время t_0 ; $[P(t_0)]$ – нормативная надежность детали.

Согласно [1] «вероятность безотказной работы по предельному состоянию ответственных деталей и узлов автосцепного устройства, в том числе корпуса автосцепки, при назначенном ресурсе 15 лет должна быть не менее 0,85», т. е. $t_0 = 15$ лет, $[P(t_0)] = [P(15 \text{ лет})] = 0,85$.

Решение вопроса осложняется тем, что возможна различная физическая природа разрушения деталей с внутренними дефектами: 1) однократная перегрузка, 2) усталостное повреждение, возникающее после некоторого числа циклов нагружения и разделяющееся на два этапа, длительность которых составляет t_1 (до момента перехода дефекта в усталостную трещину) и t_2 (развитие этой трещины до критических размеров-этап живучести детали).

Помимо этого, необходимо учитывать, что причиной разрушения может явиться не только литейный дефект, но и усталостная трещина, образовавшаяся на поверхности детали в зоне, где напряжения выше, чем в области залегания дефекта, и развивающаяся быстрее, чем трещина, возникшая от внутреннего дефекта литья. В детали нельзя допускать дефекта по размерам больше, чем определенные по условию внезапного разрушения от однократной перегрузки, так как даже без учета этапа живучести автосцепка с такими дефектами будет иметь надежность ниже допускаемой при заданном режиме внешних нагрузок. В связи с этим поставлена задача: определить степень опасности внутренних литейных дефектов в следующей последовательности:

- определить размеры дефекта, недопустимые по условию внезапного разрушения от однократной перегрузки;
- для дефектов, имеющих размеры меньше предельных определить время t_1 до момента их перехода в усталостную трещину, время t_2 до момента развития трещины до критических размеров, долговечность детали $t = t_1 + t_2$,
- определить размеры дефектов недопустимые в детали с учетом этапа живучести t_2 .

Внезапные разрушения автосцепок могут иметь как хрупкий, так и квазихрупкий характер. Так как хрупкие разрушения более опасные (они могут возникать при нагрузках в несколько раз меньше, чем квазихрупкие), то в запас надежности определение размеров дефектов будем произво-

дзіць па ўмовію нечаканых хрупкіх разрушэнняў. У гэтым выпадку верагоднасць безотказнай работы дэталі з дэфектам можна падлічваць па залежнасці, прыведзенай у рабоце [2], т.е.

$$P_{\text{деф}}^{\text{внз}}(t_0) = P_{\text{деф}}^{\text{внз}}(15 \text{ лет}) = \exp[-vL]$$

дзе v – верагоднасць хрупкага разрушэння пры аднокротным нагружэнні, L – лік нагружэнняў дэталі за тэрмін службы $t_0 = 15$ лет.

Эксперыментальнае вызначэнне часу t_1 у лабараторыі Бранскага дзяржаўнага тэхнічнага ўніверсітэта на натурных автосцепках, якіх унутраныя ліцейныя дэфекты, практычна немагчыма па цэлым ряду прычын, асноўнымі з якіх з'яўляюцца: складанасць выяўлення автосцепок з дэфектамі і фіксавання моманту пераходу дэфекта ў усталасную трэшчыну; вялікі аб'ём і доўгі тэрмін выпрабаванняў у сувязі з тым, што пераўтварэнне ўнутранага дэфекта ў усталасную трэшчыну досыць рэдкае з'яўленне па параўнанню з узнікненнем і развіццём паверхневых усталасных трэшчын у іншых месцах автосцепкі. Вызначэнне t_1 рабілася рахунковай шляхам [3]. У адпаведнасці з гэтым метадам размеркаванне часу да ўзнікнення трэшчыны лічыцца лагарыфмічна-нормальным. Пры гэтым шчыльнасць размеркавання $f(t_1)$ падлічваецца па залежнасці

$$f(t_1) = \frac{0,4343}{t_1 \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg t_1 - c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

а сярэняе значэнне часу да з'яўлення трэшчыны $\bar{T}_1$ – па залежнасці

$$\bar{T}_1 = \frac{a_p \bar{\sigma}_{-1\text{деф}}^m \cdot N_0}{N_{\text{зод}} \sum \bar{\sigma}_{ai}^m t_i}. \quad (2)$$

У гэтых формулах: c і σ – параметры лагарыфмічна-нормальнага закона размеркавання c , раўныя, адпаведна, $\lg t_1$ і $S_{\lg t_1}$; a_p – рахунковае значэнне сумы адносільных пашкоджанняў; $\bar{\sigma}_{-1\text{деф}}$ – сярэняе значэнне межу ўсталасці дэталі з разглядаемым дэфектам; m – паказальнік ступені крывой ўсталасці для дэталі з дэфектам; N_0 – базавое лік цыклаў напружанняў; $N_{\text{зод}}$ – лік цыклаў пашкоджанняў (павышаючых $\bar{\sigma}_{-1\text{деф}}$) напружанняў за 1 год эксплуатацыі дэталі з дэфектам; t_i – адносільнае лік цыклаў амплітуд пашкоджанняў напружанняў.

Значэння a_p вызначалі па формуле

$$a_p = \frac{\sum \bar{\sigma}_{ai} t_i - 0,5 \bar{\sigma}_{-1\text{деф}}}{\bar{\sigma}_{a \text{ max}} - 0,5 \bar{\sigma}_{-1\text{деф}}}$$

дзе $\bar{\sigma}_{a \text{ max}}$ – максімальная амплітуда пашкоджанняў напружанняў.

Значэння межу вынослівасці для дэталей з дэфектам $\bar{\sigma}_{-1\text{деф}}$ вызначалі па залежнасці

$$\bar{\sigma}_{-1\text{деф}} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{(K_\sigma / K_d + 1 / K_v - 1) K_{\text{раз}}},$$

дзе $\bar{\sigma}_{-1}$ – сярэняе значэнне межу вынослівасці гладкіх лабараторных зразкоў без штучнага дэфекта; K_σ – эфектыўны каэфіцыент канцэнтрацыі напружанняў, вызваны наяўнасцю дэфекта; K_d – маштабны фактар, улічвае адрозніе ў памерах зразка і дэталі; K_v – каэфі-

циент, учитывающий состояние поверхности литейного дефекта; $K_{раз}$ – коэффициент, учитывающий возможное изменение свойств металла (разупрочнение) в окрестностях дефекта по сравнению с неповрежденной зоной детали.

Экспериментальное определение на натурных автосцепках многих коэффициентов весьма затруднено, поэтому нами проводились испытания на усталость гладких образцов со специально полученными внутренними литейными дефектами различных размеров, имеющих ту же причину возникновения, что и в натурных деталях, и для сравнения образцов без литейных дефектов. Как сказано выше основным видом внутренних дефектов в зоне перехода автосцепки являются усадочные раковины. Испытаниям подвергались образцы с искусственными усадочными раковинами. Вид заготовки и образцов для испытаний приведены на рис. 1. Испытания стандартных цилиндрических образцов в соответствии с требованиями ГОСТ 25.503-79 при циклическом нагружении чистым изгибом проводили на электромеханической испытательной машине серии МУИ-6000. При этом нагрузка на образец F и число циклов напряжений до разрушения образца N_u фиксировались, а напряжения подсчитывались по известной формуле

$$\sigma = M/W_{\text{нетто}} = F \cdot l / (2 \cdot W_{\text{нетто}}).$$

Установлено, что характер поверхности, острота границ, структура металла вблизи усадочных раковин, полученных искусственно в образцах, значимо не отличаются от подобных дефектов в натурных деталях.

В качестве примера представлены результаты испытаний трех образцов на усталость (табл.).

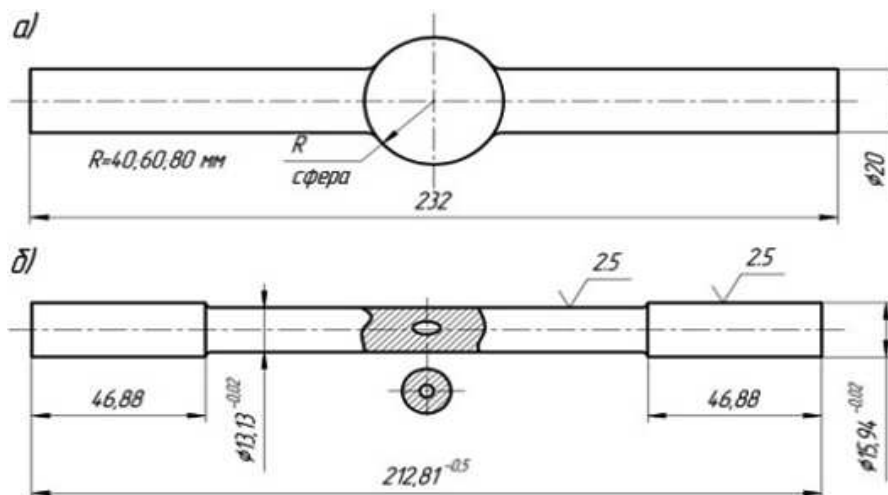
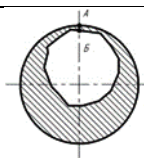
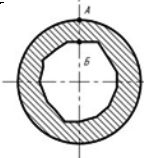
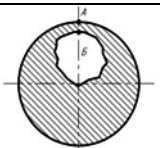


Рис. 1 Вид заготовки – а) и образца для испытания на выносливость – б)

Таблица

Фрагмент результатов испытаний на усталость образцов с внутренними литейными дефектами

Нагрузка на образец, Н	Число циклов напряжений до разрушения	Схема сечения в месте разрушения	Моменты сопротивления сечения $W_{\text{нетто}}$ м ³		Напряжения		
			А	Б	σ_A	σ_B	σ_A / σ_B
686,5	18400		$1,068 \cdot 10^{-7}$	$1,134 \cdot 10^{-7}$	321,6	302,9	1,06
980,6	45300		$1,56 \cdot 10^{-7}$	$2,19 \cdot 10^{-7}$	312,7	223,5	1,4

Нагрузка на образец, Н	Число циклов напряжений до разрушения	Схема сечения в месте разрушения	Моменты сопротивления сечения $W_{\text{нетто}}$ м ³		Напряжения		
			А	Б	σ_A	σ_B	σ_A/σ_B
735,5	2756000		$2,20 \cdot 10^{-7}$	$3,14 \cdot 10^{-7}$	166,7	116,7	1,43

Как видно из схем сечений в местах разрушения образцов дефекты имеют форму, близкую к окружности. Для оценки погрешности, вносимой в определение $W_{\text{нетто}}$ представлением дефекта окружностью на двух образцах (с различным расположением, конфигурацией и размерами внутренних дефектов) перед их испытаниями на усталость были экспериментально определены напряжения на наружной поверхности образцов над местом залегания дефекта.

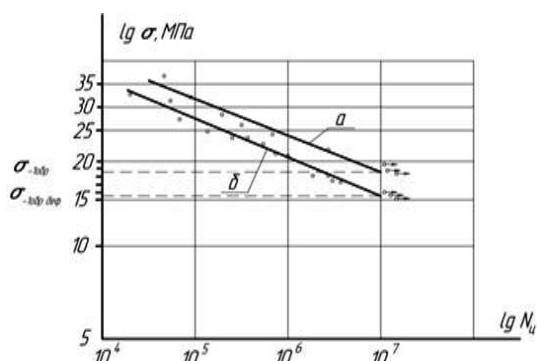


Рис. 2. Кривые усталости для:
а – бездефектных образцов; б – образцов с искусственными усадочными раковинами

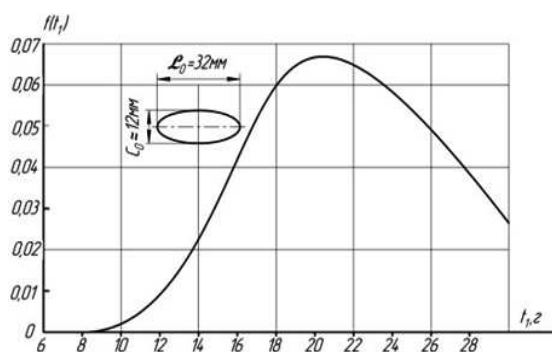


Рис. 3. Плотность распределения времени перехода внутреннего литейного дефекта в усталостную трещину

Сравнение напряжений, найденных расчетным путем и экспериментально, выявило их незначительное расхождение (менее 5 %). По результатам испытаний образцов на усталость были построены диаграммы усталости, приведенные на рис. 2.

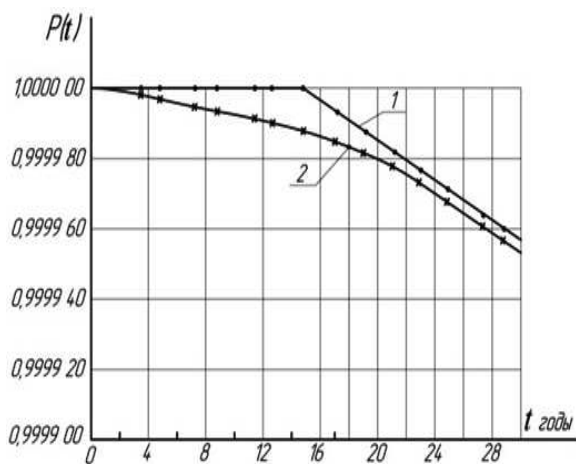


Рис. 4. Функции надежности автосцепки, полученные расчетом и по эксплуатационным данным; 1 – функция надежности, полученная расчетом для случая хрупких разрушений автосцепок; 2 – функция надежности, полученная по эксплуатационным данным о разрывах автосцепок в поездах.

Полученная по зависимости (1) плотность распределения времени перехода внутреннего литейного дефекта (принятого положения и размеров) в усталостную трещину представлена на рис. 3.

Расчет живучести t_2 выполняли с использованием зависимости Пэриса, имея в виду, что процесс развития трещины происходит при охрупченном материале. Живучесть подсчитывали по зависимости

$$t_2 = N_{\text{пред}}/N_{\text{зод}}$$

где $N_{\text{пред}}$ – число полуциклов нагружения, за которое трещина, подрастая за полуцикл на величину подрастания большой оси эллиптической трещины, достигает предельных размеров; $N_{\text{зод}}$ – число полуциклов нагружения за 1 год. Время живучести соответствовало достижению трещиной предельных размеров. Параллельно проверялась возможность образования трещины в самой напряженной точке

поверхности детали по условию (2), а, начиная с того цикла, когда условие выполняется, ведется расчет живучести как для внутреннего дефекта принятых размеров, так и для вновь образовавшейся трещины. Если окажется, что вновь образовавшаяся трещина скорее достигнет предельных размеров, чем развившаяся от дефекта, то такие детали, для которых это произошло, в дальнейшем не учитываются при расчете вероятности безотказной работы $P_{\text{деф}}(t = 15 \text{ лет})$. Затем производится вычисление долговечности $t = t_1 + t_2$.

Таким образом, разработан инженерный метод расчета надежности автосцепок с усталостными трещинами при внезапных перегрузках. Он отражает влияние на надежность температуры и продолжительности эксплуатации. Достоверность разработанного метода расчета доказана удовлетворительным совпадением с данными эксплуатации для зоны преимущественно хрупких разрушений (рис. 4).

На основе указанного метода расчета дана оценка степени опасности внутренних дефектов в литых деталях подвижного состава железных дорог, перерастающих в усталостную трещину. С использованием этого решения получены численные результаты по оценке недопустимых без исправления размеров внутренних литейных дефектов типа усадочных раковин в переходной зоне автосцепки – типичной литой вагонной детали, имеющей коробчатое сечение.

Список используемых источников:

1. Коломийченко В.В., Костина Н.А., Прохоренков В.Д., Беляев В.И. Автосцепное устройство железнодорожного подвижного состава – М.: Транспорт, 1991. – 232 с.
2. Татаринцев В.А., Филатенков О.Д. Влияние внутренних технологических дефектов на циклическую прочность литых деталей. // В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении. Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции. Под редакцией С.А. Солодского. 2020. С. 9–12.
3. Татаринцев В.А. Моделирование надежности элементов машин с учетом мониторинга их повреждений, диагностики и ремонтного цикла // В сборнике: Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКом-2018). Научные труды 4-ой Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. 2018. С. 264–266.

СЕКЦИЯ 2

Технологии получения
неразъемных соединений
в машиностроении

ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ МИКРОДИАПАЗОНА

М.А. Кузнецов^а, к.т.н., А.М. Курбонов, студент гр. 10А12, Т.С. Сайлаухан, студент гр. 10А12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел 8(38451)7-77-61

E-mail: kyznechik85@tpu.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты отработки режимов получения порошков микродиапазона. Экспериментальные исследования позволили определить оптимальные режимы для проволок различного химического состава. Основными параметрами режима исполнительного оборудования является: сила тока, давление плазмообразующего газа, скорость подачи проволоки, частота ультразвуковых колебаний

Ключевые слова: порошки, режимы, технология, сопло плазмотрона.

Abstract. This paper presents the results of testing modes for obtaining microrange powders. Experimental studies made it possible to determine the optimal modes for wires of various chemical compositions. The main parameters of the operating equipment mode are: current strength, plasma gas pressure, wire feed speed, frequency of ultrasonic vibrations Key words: powders, regimes, technology, plasma torch nozzle.

Keyword: powders, modes, technology, plasma torch nozzle.

В последние годы, наука о материалах в основном сосредоточена на разработке порошков микро – и нанодиапазона сферической формы. Главным преимуществом этих материалов является их применение в различных областях промышленности, так как их структура дает улучшенные свойства материалов, таких как твердость, прочность и пластичность. Поэтому на сегодняшний день перед исследователями становится актуальным вопрос по модернизации существующих способов получения порошков, а также по разработке новых.

На сегодняшний день существуют химико-металлургические методы производства порошков. Способ [1] заключается в восстановлении водородом наноразмерного гидроксида железа при высоких температурах, а способ 2] в плазмохимическом получении порошков оксидов металлов. Так же известен метод [3] получения мелкодисперсного металлического порошка путем распыления инертного газа для. Этот способ обеспечивает получение порошков с высокой сферической формой. Одним из достаточно новых методов [4] является гибридный метод получения сферических мелких металлических порошков центробежным распылением моноразмерных капель с пульсирующим отверстием. Этим методом были получены порошки с малым размером, узким распределением по размерам и высокой сферичностью. Помимо некоторых методов, использующих дробилки для производства порошка, распыление жидкого расплава является наиболее распространенным способом получения металлических порошков. Поэтому можно использовать различные технологии плавки. А также методы распыления (вода, газ). В зависимости от используемой технологии плавления и распыления получаемый порошок может различаться по размеру и форме [5]. Существуют разнообразные технологии производства металлических порошков: газовые, водяное распыление, центробежное распыление, плазменное распыление, механическое измельчение и легирование, твердофазное восстановление, электролитические и различные химические процессы. Все эти способы позволяют получать металлические порошки, различные по морфологии, форме и размеру, со сферичностью частиц и неровной поверхностью. При получении порошка отталкиваются от его физических, химических, объемных свойств. Обычно высококачественные металлические порошки с отличным гранулометрическим составом и без примесей оксидов, используемые для производства материалы конструкционного и функционального назначения [6, 7]. Для сфероидизации порошков широко применяют плазменную обработку это позволяет адаптировать порошки для 3d-печати. Кроме того плазменная обработка позволяет снижать средний размер частиц в диапазоне от 10 до 100 мкм [8]. Порошки производят в процессе гидрогенизации-дегидрирования с последующей плазменной сфероидизацией, это позволяет оптимизировать технологические параметры процесса и измельчения. Получены сферические порошки 40–70 мкм [9]. Гранулированные порошки, полученные с помощью распылительной суши, сфероидизировали с помощью высокочастотной индуктивно связанной плазмы. Применение плазменной обработки привело к уменьшению размера частиц, уплотнению микроструктуры и улучшению плотности и сыпучести. Термически обработанные порошки из-за их хорошей сферичности, улучшенной плотности и текучести подходят для 3d-печати [10].

На сегодняшний день существует множество способов получения порошков, однако необходимые для аддитивного производства порошки микродиапазона сферической формы является довольно сложной производственной задачей.

Основными параметрами режимов процесса получения порошков микродиапазона являются: сила тока (I , А), давление плазмообразующего газа (p , атм), скорость подачи проволоки (v , мм/с), диаметр проволоки (d , мм), химический состав проволоки.

Не менее важным параметром является расстояние от выхода плазмы из сопла плазмотрона до проволоки (l , мм). Данный параметр обеспечивается конструкцией сопла плазмотрона. В разработанном сопле плазмотрона $l = 3$ мм.

Следующим параметром является расстояние от проволоки до сопла Лаваля. При изготовлении сопла плазмотрона был учтен параметр расстояния от проволоки до сопла Лаваля (L , мм). В сопле плазмотрона $L = 45$ мм.

Еще одним из основных параметров является химический состав проволоки. Для получения более чистых по химическому составу порошков необходимо создать инертную среду, поэтому в качестве газа применяли аргон и гелий. Размер порошка зависит от режимов и диаметра проволоки, химический состав порошка зависит от химического состава проволоки.

Вывод

Экспериментально установлены параметры режимов получения порошков микродиапазона из проволок различного химического состава:

- расстояние от выхода плазмы из сопла плазмотрона до проволоки (l , мм) – 3 мм;
- расстояние от проволоки до сопла Лаваля (L , мм) – 45 мм;
- сила тока – 70-80А;
- давление плазмообразующего газа – 0,7-0,8 атм;
- скорость подачи проволоки – 20-40 мм/с;
- частота ультразвуковых колебаний – 50МГц.

На полученных режимах получили порошки различных размеров, и формы из проволок различного химического состава. Порошки, полученные из стальных проволок имеют правильную форму близкую к сфере и средний размер 50-100 мкм.

Также в процессе экспериментальных исследований были получены порошки, у которых частица имеет не правильную форму, такие порошки возможно использовать только после процесса сфероидизация. Неправильная форма частиц порошков обоснована тем, что все металлы имеют различные физические, механические свойства и температуру плавления, поэтому невозможно учесть все особенности и разработать оптимальную конструкцию сопла плазмотрона для получения порошков правильной формы из всех металлов. Для того что бы получать частицы порошков правильной формы из металлов с повышенной жидкотекучестью (алюминий, титан, медь) необходимо изменять следующие параметры: угол α , диаметр входного и выходного отверстия газового канала, в котором образуется плазма, т.е. в сопле плазмотрона создавать необходимые направления плазменных потоков для образования на поверхности капли жидкого металла микронеровностей. Для получения порошков до 10 мкм необходимо в нижнем корпусе сопла плазмотрона размещать сопло Лаваля.

Список используемых источников:

1. Baldokhin, Yu.V., Suzdalev, I.P., Prusakov, V.E., Burnazyan, D.A., Korneev, V.P., Kovalenko, L.V., Folmanis, G.E. A study of nanostructures formed in the hydrogen reduction of Fe(OH) 3 (2012) Russian Journal of Physical Chemistry B, 6 (1), pp. 81-88.
2. Zhukov, I., Vorozhtsov, S., Promakhov, V., Bondarchuk, I., Zhukov, A., Vorozhtsov, A. Plasma-chemical method for producing metal oxide powders and their application (2015) Journal of Physics: Conference Series, 652 (1), статья № 012027.
3. Smirnov M.A., Kaplan M.A., Sevostyanov M.A. Receiving finely divided metal powder by inert gas atomization // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. – 2018. Vol. 347. – 012033.
4. Dong W, Meng Y, Xu F.M., Han Y., Wang, Y.Y., Wang X.M, Zhao Y. Preparation of Sn-Pb Spherical Fine Metal Powders by Centrifugal Atomization Based on Mono-Sized Droplets // Powder metallurgy and metal ceramics. – 2020. – Vol. 56. – № 5-6. – pp. 239-248.
5. Wallner S. Powder Production Technologies // Berg Huettenmaenn Monatsh 164, 108–111 (2019).
6. K. Kassym and A. Perveen, Atomization processes of metal powders for 3D printing, Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.364>.

7. Saheb S.H, Durgam V.K., Chandrashekhara A.A Review on Metal Powders in Additive Manufacturing // Third international conference on inventive material science applications (ICIMA 2020). – 2020. – Vol. 2218. – 020018.
8. Ji, L., Wang, C., Wu, W., Tan, C., Wang, G., Duan, X.-M. Spheroidization by Plasma Processing and Characterization of Stainless Steel Powder for 3D Printing (2017) Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 48 (10), pp. 4831-4841.
9. Kotlyarov, V.I., Beshkarev, V.T., Kartsev, V.E., Ivanov, V.V., Gasanov, A.A., Yuzhakova, E.A., Samokhin, A.V., Fadeev, A.A., Alekseev, N.V., Sinayskiy, M.A., Tretyakov, E.V. Production of spherical powders on the basis of group IV metals for additive manufacturing (2017) Inorganic Materials: Applied Research, 8 (3), pp. 452-458.
10. Yan, Z., Xiao, M., Mao, X., Khanlari, K., Shi, Q., Liu, X. Fabrication of spherical WC-Co powders by radio frequency inductively coupled plasma and a consequent heat treatment (2021) Powder Technology, 385, pp. 160-169.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ РДС

Д.П. Ильященко, к.т.н., доцент

Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),

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

E-mail: mita8@tpu.ru

Аннотация. В статье проанализированные литературные источники по моделированию формирования зоны проплавления при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (РДС). Особенности формирования зоны проплавления при РДС приводят к большей неравномерности эволюции фронта плавления во времени, что означает необходимость проведения дополнительных исследований по влиянию технологических параметров режима, переноса электродного металла и типа используемого источника питания на формирование зоны проплавления при ручной дуговой сварке. Определены основные параметры управления геометрическими характеристиками зоны проплавления, а именно глубиной и шириной зоны.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, фронт плавления, эволюция зоны проплавления, математическая модель, управление формированием шва.

Abstract. The article analyzes literature sources that simulate the formation of a penetration zone in manual arc welding using electrodes (RDS). Features of the formation of the penetration zone during RDS lead to a greater non-uniformity of the evolution of the melting front in time. The main parameters for controlling the geometric characteristics of the penetration zone, namely the depth and expansion of the zone, are determined.

Keyword: shielded metal arc welding, melting front, fusion zone evolution, mathematical model, weld formation control.

Основной текст

Проблема управления переносом электродных капель применительно к ручной дуговой сварке покрытыми электродами до сих пор не формализована в связи с наличием многих случайных факторов и неконтролируемых параметров в процессе формирования сварочной ванны.

Известны работы, посвященные вопросам переноса электродного металла при механизированной сварке и наплавке проволочными [1-3] и ленточными [4, 5] электродами, в том числе, при использовании управляющих воздействий [6-8]. В работах [9-13] исследована методика определения размеров и массы капель электродного металла в зависимости от динамических характеристик источника питания [9], наличия на свариваемой поверхности защитных покрытий [10] и компонентов входящих в обмазку покрытого электрода при РДС [11-13].

В то же время влияние этих параметров на размеры зоны проплавления, ее рост и формирование, что, в конечном счете, является определяющими условиями для обеспечения равнопрочности сварного соединения, не изучено в достаточной степени [14, 15].

По результатам статистической обработки экспериментальных данных размеров зоны проплавления при электродуговой наплавке под флюсом [16] и в среде защитных газов [17] получены модели эволюции зоны проплавления до начала ее кристаллизации, представленные обобщенной нелинейной функцией вида:

$$\bar{V}_i(\bar{x}) = \left[\varepsilon_1 \bar{x}^2 + \varepsilon_2 \exp(\bar{x}) + \frac{\varepsilon_3}{\exp(\bar{x})} + \varepsilon_4 \bar{x} + \varepsilon_5 \right]^{-1}, \quad (1)$$

где $\bar{V}_i(\bar{x})$ – относительная скорость для i -го интервала; $\bar{x}$ – относительная координата точки фронта плавления; ε_i – коэффициенты, представляющие собой функциональные зависимости от технологических параметров, где в качестве основных независимых переменных выступают скорость подачи электрода и его диаметр.

При использовании РДС параметр скорости подачи/плавления стержня не может быть применен в качестве входной переменной модели, поэтому в методиках расчета используют: значение силы тока $I_{св}=90-120$ А; напряжение - $U_{св}=const$. В этом случае необходимо корректировать коэффициенты зависимости (1) при изменении диаметра и марки электрода, типа источника тока и т.д.

Заключение

В статье проанализированные литературные источники по моделированию формирования зоны проплавления при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (РДС). Особенности формирования зоны проплавления при РДС приводят к большей неравномерности эволюции фронта плавления во времени, что означает необходимость проведения дополнительных исследований по влиянию технологических параметров режима, переноса электродного металла и типа используемого источника питания на формирование зоны проплавления при ручной дуговой сварке. Определены основные параметры управления геометрическими характеристиками зоны проплавления, а именно глубиной и шириной зоны.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0003

Список используемых источников:

1. Saraev, Y.N., Bezborodov, V.P., Gladkovskiy, S.V., Golikov, N.I. Improving the reliability of metallic structures in service in the conditions with low climatic temperatures by efficient application of advanced methods of modification of the zone of the welded joint (2017) Welding International, 31 (8), pp. 631-636. <http://www.tandf.co.uk/journals/titles/09507116.asp> doi: 10.1080/09507116.2017.1307512.
2. Юшин, А.А. Разработка критериев оценки сварочных свойств установок для дуговой сварки с управляемым каплепереносом : дис. ... канд. техн. наук / Алексей Александрович Юшин. – Москва, 2012. – 165 с.
3. Kuznetsov, M.A., Zernin, E.A., Danilov, V.I., Karzev, D.S. (2013), Application of nanostructured powders to control characteristics of electrode metal transfer and the process of weld structurization, Appl. Mech. Mater. 379: 199-203, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.199.
4. Ivanov, V., Lavrova, E., Burlaka, V., Duhanets, V. (2019) Calculation of the penetration zone geometric parameters at surfacing with a strip electrode. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/5 (102), 57-62. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.187718.
5. Lavrova, E., Ivanov, V. (2018) Controlling the depth of penetration in the case of surfacing with a strip electrode at an angle to the generatrix. Materials Science Forum, 938, 27-32. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.938.27.
6. Ivanov, V.P. Lavrova, E.V. (2014) Improving the efficiency of strip cladding by the control of electrode metal transfer. Applied Mechanics and Materials, 682, 266-269. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.682.266
7. Ivanov, V., Lavrova, E. (2018) Development of the device for two-strip cladding with controlled mechanical transfer. Journal of Physics: Conference Series, 1059, 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012020.
8. Lavrova, E., Ivanov, V., Royanov, V., and oth. Improving a resource-saving surfacing technology using two ribbon electrodes with a controlled transfer of electrode's metal. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/12 (97), 28-34. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154681.
9. Saraev, Y.N., Chinakhov, D.A., Ilyashchenko, D.I., Kiselev, A.S., Gordynets, A.S. Investigation of the stability of melting and electrode metal transfer in consumable electrode arc welding using power

- sources with different dynamic characteristics (2017) *Welding International*, 31 (10), pp. 784-790. <http://www.tandf.co.uk/journals/titles/09507116.asp> doi: 10.1080/09507116.2017.1343977.
10. Il'yaschenko, D.P., Chinakhov, D.A., Makarov, S.V., Danilov, V.I., Galinsky, A.A., Verkhoturova, E.V. Effect of ultra-disperse powder in electrode coating on properties of welds in MMA welding» (*Engineering Solid Mechanics* 8(1), 2020 c. 41-48.
 11. D.P. Il'yaschenko, D.A. Chinakhov, E.V. Verkhoturova, R.A. Mamadaliev Effect of Protective Coatings in Welded Constructions on Welding Stability and Electrode Metal Transfer into a Weld Pool in MMA Solid State Phenomena (2020) Vol. 303, pp 32-38.
 12. Vaz, C.T., Bracarense, A.Q. The effect of the use of PTFE as a covered-electrode binder on metal transfer (2015) *Soldagem e Inspecao*, 20 (2), pp. 160-170.
 13. Vaz, C.T., Bracarense, A.Q., Felizardo, I., Pereira Pessoa, E.C. Impermeable low hydrogen covered electrodes: Weld metal, slag, and fumes evaluation (2012) *Journal of Materials Research and Technology*, 1 (2), pp. 64-70.
 14. Il'yaschenko, D.P., Chinakhov, D.A., Kirichenko, K.Y., Sydorets, V.N. Mathematical formula to determine geometrical dimensions of electrode metal droplets transferred with short circuits (2018) *Materials Science Forum* 938, c. 1-6.
 15. Moarrefzadeh, A. Modeling and simulation of heat affected zone (HAZ) in MIG/MAG welding (2011) *International Review on Modeling and Simulations*, 4 (3), pp. 1389-1395. <http://www.praiseworthyprize.com/iremos.htm>.
 16. Ivanov, V.P., Lavrova, E.V. (2016) Controlling penetration zone formation in arc surfacing. *The Paton Welding J.*, 8, 2-6. DOI: 10.15407/tpwj2016.08.01.
 17. Ivanov, V.P., Razmushlyayev, A.D., Lavrova, E.V. (2016) Penetration zone control in GMAW. *Visnyk PryazovDTU*, 32, 118-125.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА

А.В. Крюков^а к.т.н., А.М. Кужельникова, студент гр. 10А12

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

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

E-mail: ^аkrukov@tpu.ru

Аннотация. Своевременный и качественный ремонт карьерного оборудования является важным составляющим эффективным функционирования. Качество получаемых сварных соединений должно обеспечивать надёжную работу машин.

Ключевые слова: Технологический процесс сварки, математическое моделирование, САЕ.

Abstract. Timely and high-quality repair of quarry equipment is an important component of effective functioning. The quality of the resulting welded joints should ensure reliable operation of the machines.

Keyword: Welding process, mathematical modeling, SAE.

Целью работы является моделирование технологического процесса сварки. Результатом исследования является имитационная модель процесса сварки изделия.

Сварка средне и высокоуглеродистых сталей связана с возможностью появления областей с повышенной твёрдостью [1]. Это связано в том числе с возникновением закалочных структур. В итоге при нагрузке деталь с большой вероятностью может выйти из строя в результате поломки.

Методы математического и симуляционного моделирования позволяют произвести анализ вариантов технологического процесса с применением различных технологических решений (режимов различных видов термообработки и т.д.).

Качественная и количественная оценка может базироваться на САЕ-анализе, на рисунке показана расчётная модель изделия.

В работе производилось исследование технологии выполнения сварного соединения штока из марки 42CrMo4 с ухом из стали 40Л.

Используется щелевая разделка со скосом кромки 15-20 градусов.

Для выполнения соединения по базовой технологии применяется два способа сварки. Корень шва и заполнение до середины разделки выполняется сваркой в защитном газе проволокой Aristoroad диаметром 1,2, остальная часть выполняется сваркой под флюсом.

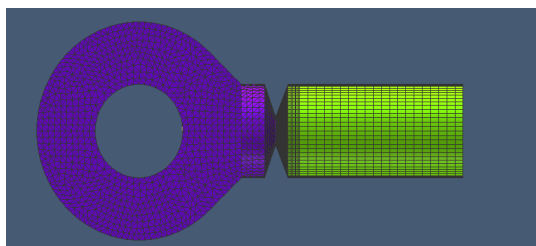
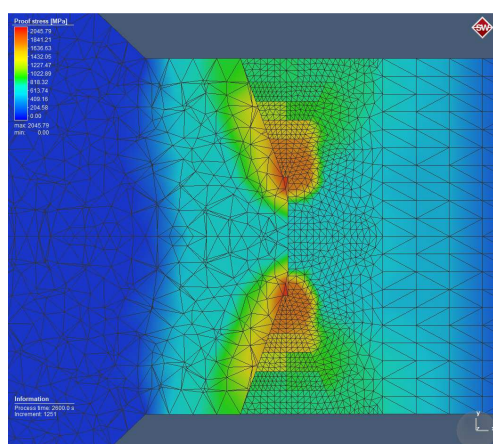


Рис. 1. Расчётная модель изделия

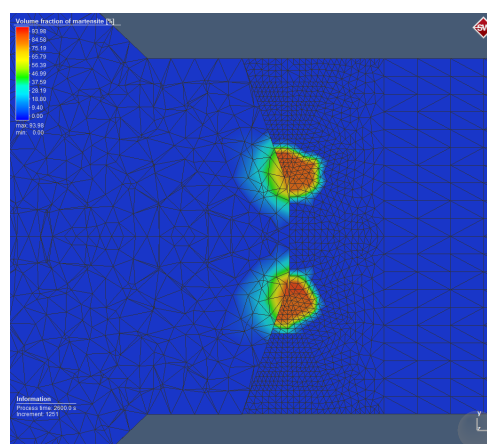
Расчёты выполнялись в программе Simufact Welding. Это специализированная программа предназначенная для оптимизации процессов сварки и наплавки.

Сварка является нестационарным процессом так как все свойства материала являются функциями температуры. Для проведения расчётов были сформированы модели материалов из которых выполнены детали. Для построения моделей материалов использовалась программа JMatPro.

Как видно из рисунка 2 после сварки образуется поле напряжений высокого уровня



а



б

Рис. 2. Результаты моделирования (базовая технология)
а – остаточные напряжения, б – объёмная доля мартенсита

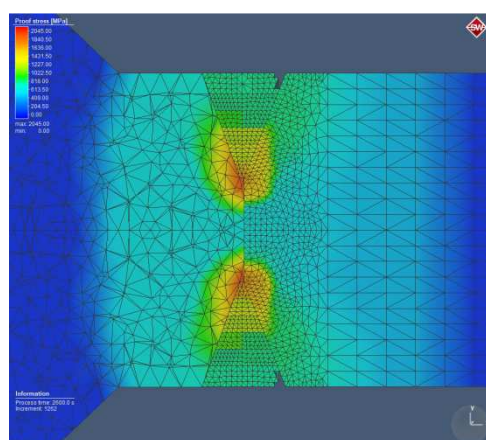
На слайде показано объёмное содержание мартенсита.

Для повышения качества технологического процесса были предложены следующие технологические решения

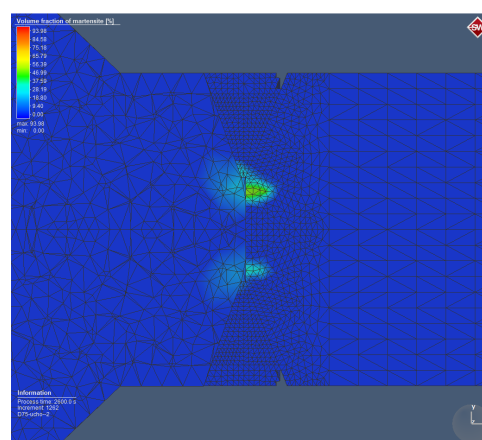
Работа велась в два этапа.

1. Проведение предварительного подогрева 150-250 С

Это позволяет существенно снизить уровень остаточных напряжений и объёмного содержания мартенсита



а



б

Рис. 3. Результаты моделирования (при наличии предварительного подогрева)
а – остаточные напряжения, б – объёмная доля мартенсита

2. Был рассмотрен вариант использования отпуска сварного соединения (этот вариант не рассматривался в полной мере т.к. на предприятии нет возможности проведения операции). Однако, как видно из рисунка

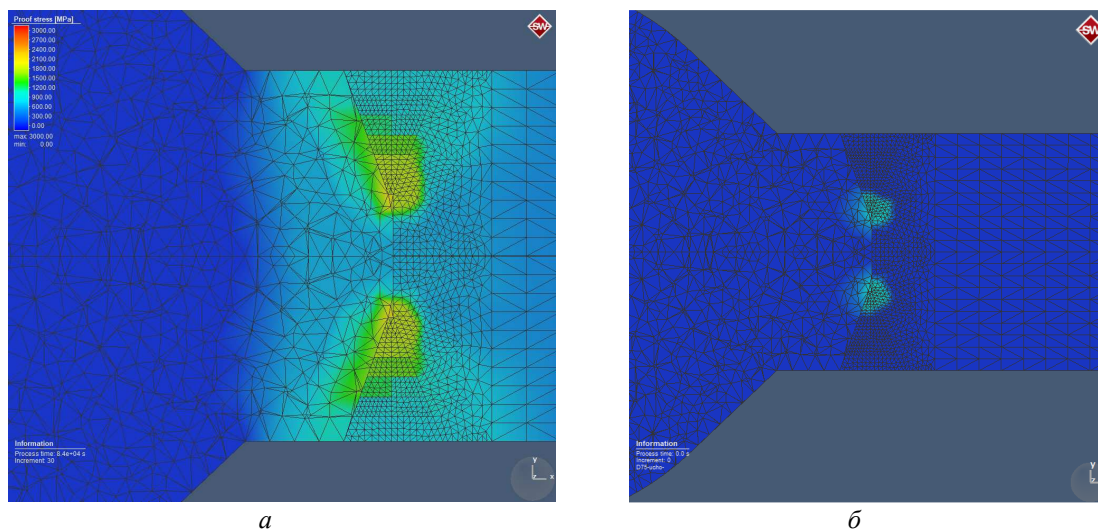


Рис. 4. Результаты моделирования (при наличии предварительного подогрева и последующей термообработки)
а – Остаточные напряжения, б – объемная доля мартенсита

Заключение

Разработана симуляционная модель процесса сварки штока гидроцилиндра с ухом, позволяющая производить оценку влияния элементов технологии и их режимов на качество получаемого изделия.

По результатам моделирования были сформированы рекомендации по оптимизации технологического процесса.

Список используемых источников:

1. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989.-336с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ MIG-MAG СВАРКЕ

С.А. Солодский ^а, к.т.н., доц., Т.С. Сайлаухан студент гр. 10A12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета.

Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26.

E-mail: solodskiy@tpu.ru

Аннотация. Предложен новая технология реализации управления процессом MAG, MIG-сварки при питании сварочной дуги переменным током промышленной частоты с технологическим оборудованием, обеспечивающим импульсную подачу сварочной проволоки в зону горения дуги. Процесс обеспечивает снижение теплового воздействия на зону термического влияния, стабилизирует время образования капли электродного металла за счет снижения внешнего магнитного воздействия на сварочную дугу. По результатам исследований сформулированы основные критерии управления переносом электродного металла при ее питании от источников переменного тока.

Ключевые слова: прочность соединения, MIG-MAG.

Abstract. A new technology is proposed for the implementation of MAG, MIG-welding process control when the welding arc is powered by an alternating current of industrial frequency with technological equipment that provides pulsed supply of welding wire to the arc gorenje. The process reduces the thermal effect on the zone of thermal influence, stabilizes the time of formation of a drop of electrode metal by reducing

the external magnetic effect on the welding arc. Based on the results of the research, the main criteria for controlling the transfer of electrode metal when it is powered from alternating current sources are formulated.

Keyword: joint strength, MIG-MAG.

Актуальность

Условия существования дуги при ее питании от источников переменного тока промышленной частоты отличаются от условий ее существования при питании постоянным током. При синусоидальном напряжении частоты 50 Гц активное пятно на катоде сто раз в секунду изменяет свое напряжение. К концу каждого полупериода синусоидальное напряжение уменьшается до нуля; при этом уменьшается напряженность электрического поля разрядного промежутка. Вследствие этого уменьшается степень ионизации газа в столбе дуги, рассасывается пространственный объемный заряд в приэлектродных областях. Все это ухудшает условие поддержания стабильного дугового разряда [1]. Однако сварка на переменный ток дуги имеет ряд преимуществ, отсутствие дестабилизирующего воздействия внешнего магнитного поля дуги обеспечивает ее стабильность в пространстве, имеющее место катодное распыление в полупериоды, когда катодом является изделие, разрушается оксидная пленка. Дуга переменного тока дает более лучшее для сварного соединения распределение температурных полей, что сказывается на качестве микроструктуры и остаточных напряжениях. В мире переменный при сварке используется исключительно при сварке неплавящимся электродом алюминиевых металлов и сплавов, а также в случае дуговой сварки штучными электродами. В работе представлена новая технология механизированной дуговой сварки в среде защитных газов на переменном токе промышленной частоты, с технологическим оборудованием, обеспечивающим импульсную подачу сварочной проволоки в зону горения дуги, при сварке металлоконструкций в различных пространственных положениях. Данной проблемой занимались Патон Б.Е., Лебедев В.А., Микитин Я.И.

Реализация процесса

Как известно, MIG, MAG сварка на переменном токе имеет ряд ключевых достоинств по сравнению со сваркой на токах постоянных: отсутствие отклонений электрической дуги от оси электрода, низкая зона термического влияния и более оптимальный температурный цикл за счет модуляции тока дуги, лучшее перемешивание и очищение металла шва за счет смены полярности переменного тока дуги [2]. Очищающее действие сварочной дуги при сварке переменным током проявляется в те полупериоды, когда катодом является изделие благодаря катодному распылению, так как в этом случае происходит разрушение окисной и нитридной пленок.

Несмотря на это MIG, MAG сварка на переменном токе не нашла распространения из-за недостатка, ограничивающего этот способ в использовании.

Недостаток заключается в том, что условием стабильного горения дуги при дуговой сварке в защитной среде инертных газов на переменном токе является регулярное восстановление разряда при смене полярности, поэтому для возбуждения дуги переменного тока требуется источник питания с повышенным напряжением холостого хода. При MIG, MAG - сварке происходит искажение кривой тока дуги и в ней появляется постоянная составляющая, которая вызывает появление в сварочной цепи постоянной составляющей тока. Постоянная составляющая тока в свою очередь создает постоянное магнитное поле в сердечнике трансформатора и дросселя, что приводит к уменьшению мощности сварочной дуги и ее устойчивости. Одним из главных ограничений применения сварки на переменном токе является короткое замыкание дугового промежутка при переходе электродного металла в сварочную ванну. Решение всех недостатков позволит получить энергосберегающий способ сварки и повысить качество сварных соединений за счет лучшего термического цикла и более интенсивных процессов раскисления и рафинирования металла [3].

Предлагаемая технология сварки заключается в следующем. Сварка ведется в среде защитных газов с питанием электрической дуги переменным током, с одновременным применением двух источников импульсов механического и электрического. Сварку ведут на переменном токе промышленной частоты, синхронизированную с циклами импульсной подачи сварочной проволоки с управлением процессом за счет каналов обратной связи (Рисунок 1). Плавление сварочной проволоки осуществляют в цикле нарастания тока дуги T_1 по синусоидальному закону, согласованному с циклом паузы подачи проволоки. Перенос электродного металла происходит с коротким замыканием дугового промежутка в цикле спада и смены полярности тока дуги T_2 за счет импульса подачи сварочной проволоки. Зажигание дуги осуществляют принудительным движением проволоки от сварно-

го шва в цикле нарастания тока дуги. Для этого используется оригинальный импульсный механизм подачи проволоки (Рисунок 2) [4]

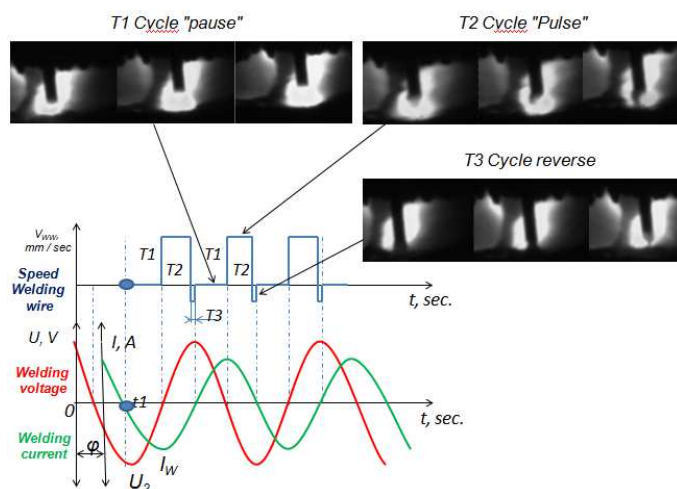


Рис. 1. Циклограмма процесса сварки.

Особенности технологии заключается в следующем. Плавление сварочной проволоки и первоначальное формирование капли электродного металла осуществляется в момент отсутствия подачи сварочной проволоки в момент времени, когда полярность дуги переменного тока промышленной частоты – обратная. Во время паузы в подаче сварочной проволоки при горении дуги на обратной полярности, когда анод горячее катода, увеличивается скорость плавления и при этом формируется капля электродного металла. Далее происходит импульс подачи сварочной проволоки в момент T1, когда синусоида напряжения дуги достигает нулевого значения, а ток дуги, сдвинутый по фазе, плавно снижаясь, стремится к нулю и, соответственно, перенос жидкой капли электродного металла через дуговой промежуток происходит при минимальном давлении на нее сил сварочной дуги. Процесс перехода капли в сварочную ванну происходит с коротким замыканием дугового промежутка во время перехода тока дуги с обратной полярности на прямую, и в период окончания цикла импульса подачи проволоки T2. При этом ток дуги имеет небольшое значение, что уменьшает силу газодинамического удара при разрыве перемычки, и способствует более плавному переходу электродного металла в изделие. Стабилизация поджига дуги и снижение времени разрыва жидкой перемычки электродного металла между сварочной проволокой и сварочной ванной происходит за счет управляемого по каналам обратной связи поступательного движения сварочной проволоки вверх от изделия [5].

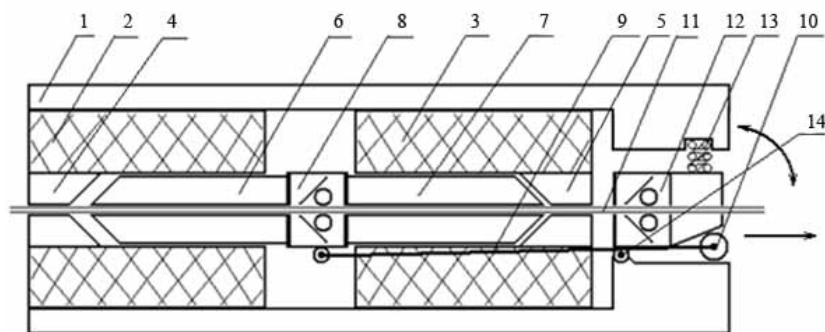


Рис. 2. Конструкция импульсного механизма подачи сварочной проволоки.

1 – корпус, 2, 3 – электромагнитные катушки; 4, 5 – сердечники; 6, 7 – якоря, 8, 12 – шариковые захваты для проволоки; 9 – штанга; 10 – ролик 11 – сварочная проволока; 13 – пружина сжатия.

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки работает следующим образом. При подаче электроэнергии на катушку электромагнита 3 якорь 7 втягивается в нее и тянет за собой якорь 6.

При цьому захват 8 заклинюється і тягне за собою провідку 11, яка вільно ковзає через зажим 12. Після переключення електроенергії на котушку 2 відбувається зворотний процес, т.е. якорь 6 втягується в котушку 2 і тягне за собою якорь 7. В цьому випадку захват 12 заклинюється, а зажим 7 вільно ковзає по провідку 11, одночасно з поверненням якоря 6 через штангу 9 відбувається переміщення ролика 10, який переміщуючись, піднімає передній край захопу 13 закріпленого на шарнірі 14. Поворот зажима 12 призводить до зворотного руху провідки 11 із зони зварки, що призводить до примусового обриву рідкої перемички між провідкою і зварочною ванною. Пружина 13 фіксує зажим 12 відносно ролика 10.

Таким чином, поперемінне включення котушок забезпечує переміщення провідки 11 в зону зварки – на чертежі показано стрілкою, при цьому, зажим 12, відносно осі 14 виконує коливаючі рухи – показані стрілкою і обриває в час зворотного руху якоря 7 рідку перемичку між провідкою і зварочною ванною.

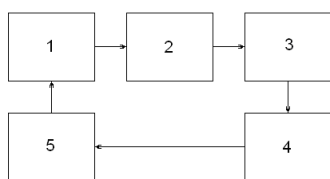


Рис. 3. Блок-схема управління імпульсним подаючим механізмом. 1 – блок корекції; 2 – генератор імпульсів; 3 – силова частина електричної схеми; 4 – імпульсний подаючий механізм; 5 – зварювальна дуга

Крім цих умов для отримання якісного зварного шва силова частина електричної схеми, управляючої роботою привода подачі провідки, повинна враховувати індуктивний характер навантаження (електромагніта або електродвигателя).

Виходячи з вищесказаного, механізм імпульсної подачі зварювальної провідки разом з електричною схемою і зварювальною дугою повинен представляти систему автоматизованого управління, найважливішою частиною якої є система зворотного зв'язу. Така схема управління (Рис. 5, 6) може працювати з будь-яким приводом (електромагнітним або приводом з допомогою електродвигателя) імпульсної подачі зварювальної провідки.

Блок корекції повинен стежити за зміною параметрів зварювальної дуги і в залежності від цього вносити відповідні зміни в траєкторію руху зварювальної провідки. Така корекція відбувається на рівні утворення і переносу краплі електродного металу в зварювальну ванну. Слідоваче, цей блок повинен мати зворотний зв'яз по напругі або по струму, принципова електрична схема представлена на рис. 4.

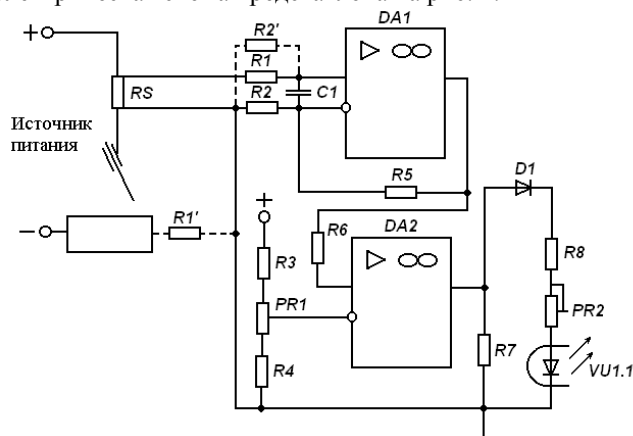


Рис. 4. Блок корекції системи управління механізмом імпульсної подачі зварювальної провідки

Блок корекції параметрів дуги включає в себе датчик зварювального струму або напруги дуги (DA1) і вузол узгодження, який узгоджує параметри зварювальної дуги і вхідний імпеданс блоку управління і тим самим здійснює гнучку зворотний зв'яз по струму або напругі (зворотний зв'яз по напругі позначено пунктиром). Крім того, в склад блоку входить схема порівняння заданого напруги з сигналом зворотного зв'язу (DA2) і в залежності від установки движка потенціометра (PR1) видає сигнал корекції на генератор імпульсів. Для узгодження роботи блоку корекції генератора імпульсів, а також іс-

ключення електричної зв'язу між ними необхідно ввести гальванічну розв'язку трансформаторну або оптронну (VU1).

Матеріал і методи дослідження

Лабораторні випробування показали можливість використання запропонованого способу в промислових умовах. При дослідженні механічних властивостей зварних з'єдинень із сталі 30ХГСА, виконаних в середі вуглекислого газу зварювальною провідкою Св-08Г2С виявлено, що при використанні запропонованого способу відбувається збільшення ударної в'язкості [6].

Таблица

Результаты механических испытаний сварных образцов из стали
30ХГСА (многослойная сварка поворотного стыка трубы) [7, 8]

Способ сварки	Временное сопротивление разрыву, мПа	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при 200С	Твердость шва, НВ	Твердость 3ТВ, HRC (НВ)
Традиционный способ (на постоянном токе)	635	141	167	22(198)
Предлагаемый способ	634	167	153	23(207)

Металлографические исследования сварных соединений (Рисунок 3) из стали 09Г2С показали снижение зоны термического влияния до 15% по сравнению с процессом механизированной сварки в среде защитных газов на постоянном токе за счет циклов нарастания и спада тока дуги со сменой его полярности. Видеосъемка и осциллографирование процесса сварки показало стабилизацию процесса переноса электродного металла за счет отсутствия осевых отклонений дуги и снижение разбрызгивания электродного металла до 4%.

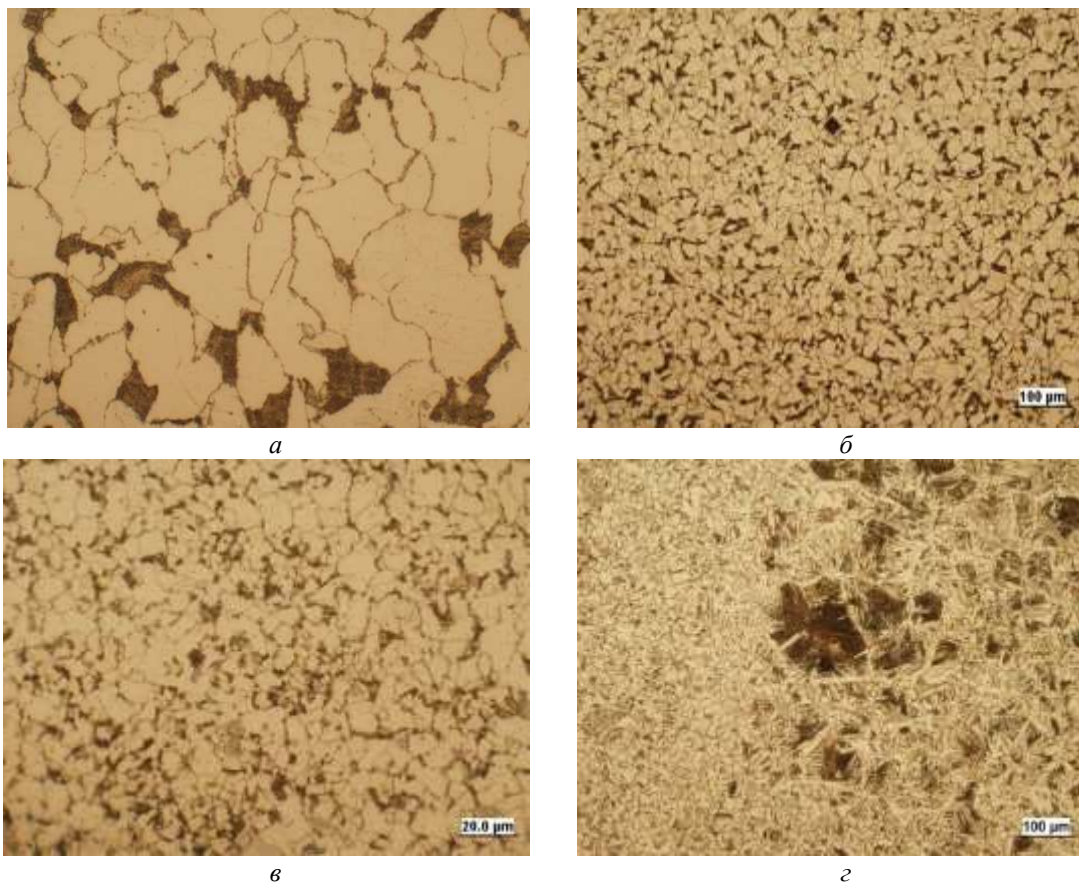


Рис. 3. Микроструктура сварного шва: а, б – микроструктура стали 09Г2С, в – микроструктура 3ТВ сварного соединения (сварка на переменном токе дуги); г – микроструктура 3ТВ сварного соединения (традиционный способ сварки)

Выводы

Разработанная технология позволяет:

- согласовать перенос электродного металла с циклами смены полярности тока промышленной частоты за счет импульсной подачи сварочной проволоки при токе, близком к нулю и минимальном давлении сил дуги при снижении тока дуги по синусоидальному закону, за счет импульса по-

дачи проволоки. Стабилизировать перенос электродного металла в сварочную ванну, за счет управления процессом по каналам обратной связи автоматизированной системой управления. Перенос осуществляется с промышленной частотой 50 Гц,

- б. снизить размер переносимой капли электродного металла вследствие снижения тока дуги по синусоидальному закону и, как следствие, отсутствия давления дуги во время переноса капли, что позволяет получать мелкокапельный перенос, снижение теплоемкости электродного металла и выгорания легирующих элементов, что приводит к увеличению ударной вязкости сварного соединения.
- в. уменьшить время перехода капли электродного металла со сварочной ванны в связи с тем, что короткое замыкание и одновременный переход капли электродного металла в сварочную ванну осуществляется в момент перехода тока через ноль и смены его полярности с обратной на прямую, что приводит к снижению силы газодинамического удара до минимума. Это способствует снижению потерь электродного металла на разбрызгивание до 4%,
- г. уменьшить ширину зоны термического влияния сварного соединения до 15%, за счет циклического и плавного, по синусоидальному закону, изменения тока дуги и его полярности и, как следствие, циклической эмиссии электронов с катода, что приводит к получению более равновесной, мелкозернистой микроструктуры сварного соединения,
- д. повысить энергоэффективность процесса сварки за счет снижения энергопотребления процесса сварки при использовании для питания электрической дуги сварочные трансформаторы переменного тока.
- е. снижение зоны термического влияния и хорошее перемешивание металла шва происходит без использования дорогостоящих высокотехнологичных импульсных источников питания

Список используемых источников:

1. Saraev Y. Adaptiv pulse-arc welding methods for construction and repair of the main pipelines. Proceedings of The 2nd South-East European IIW International Congress "Welding – HIGH-TECH Technology in 21st century". Sofia, Bulgaria, October 21st-24th 2010, p. 174 – 177.
2. Lebedev V.A. Creating mechanized arc-welding equipment with pulsed electrode supply. Russian engineering research. 2009. т. 29. № 2. с. 131-135.
3. Chinakhov D.A., Agrenich E.P. Computer simulation of thermo-mechanical processes at fusion welding of alloyed steels // Materials Science Forum. - Vols. 575-578 (2008). - Pp. 833-836.
4. Brunov, O.G., Solodskii, S.A. Physico-mathematical modelling of the transfer of electrode metal droplets into the weld pool. Welding International. 2009. 23 (12), pp. 930-933
5. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Пичак Б.Г., Полосков С.И. Эволюции систем импульсной подачи электродной проволоки для сварки и наплавки. Сварка и диагностика. 2009. № 3. с. 46-50.
6. Brunov, O.G., Solodskii, S.A., Zelenkovskii, A.A. Conditions of arc ignition in welding in shielding gases/Welding International 2012 26 (9), pp. 710-7127. Chinakhov D. A. Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30XГСА single-pass weld joints // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 52-54. – 2011. – p. 442-447. - Mode of access: <http://www.scientific.net/AMM.52-54.442>
7. Valuev D. V. , Danilov V. I. Reasons for Negative Formation of Structures in Carbon Steel Processing of Pressure // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - Vol. 2 - p. 151-154.

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАПЛАВКИ ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А.С. Гордынец¹, доцент, к.т.н., А.С. Непомнящий^{1,2}, студент гр. 1В81

¹Томский политехнический университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-444-555

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: asn39@tpu.ru

Аннотация. В статье показаны результаты сравнения показателей производительности наплавки при ручной и автоматической подачи покрытых электродов, экспериментально доказано, что применение автоматической подачи покрытых электродов снижает потери на разбрызгивание и угар, также повышаются стабильность горения дуги и характеристики тепломассопереноса.

Abstract. The article shows the results of comparing the performance indicators of surfacing with manual and automatic feeding of coated electrodes, it has been experimentally proven that the use of auto-

matic feeding of coated electrodes reduces spatter and waste losses, the stability of arc burning and heat and mass transfer characteristics also increase.

Ключевые слова: тепломассоперенос, сварка, наплавка, стабильность, электроды, покрытие, производительность.

Keyword: heat and mass transfer, welding, weld deposition, stability, electrodes, coated, performance.

Введение: Ручная дуговая сварка покрытыми электродами нашла широкое применение в различных областях, поскольку является универсальным способом получения неразъемных соединений металлоконструкций различного производственно-технического назначения [1]. Потери на угар и разбрызгивание снижают производительность сварки и наплавки, поэтому одной из задач устройства автоматической подачи покрытых электродов является уменьшение потерь при сварке.

Описание устройства

Устройство обеспечивает функции контактного зажигания, регулировку средней длины межэлектродного промежутка, гашение дуги удлинением. В состав устройства (Рисунок 1) входят следующие компоненты: электрододержатель (а); корпус (б), направляющее устройство (в), сервопривод (г), ходовой винт (д), а также не показанный на рисунке блок управления.



Рис. 1. Внутреннее устройство блока подачи покрытых электродов.

Блок управления, благодаря введению обратной связи, способен регулировать величину межэлектродного промежутка, уменьшая или увеличивая скорость вращения сервопривода. С целью выявления преимуществ и недостатков разработанного устройства были произведены экспериментальные исследования, результаты которых сравнивали с данными, полученными для аналогичных условий при ручной подаче покрытых электродов в сварочную ванну.

Методика проведения эксперимента, материалы и применяемое оборудование

Схема проведения экспериментальных исследований представлена на рисунке 2 а. Наплавка проводилась в нижнем положении, на пластину толщиной 13 мм из стали 09Г2С, электроды для наплавки были выбраны ОК 46.00 (рутилово-целлюлозное покрытие) и ОК 53.70 (основной тип покрытия), диаметром 3 мм и 3,2 мм соответственно. Источником питания выступал выпрямитель ВД-306Э. величина межэлектродного расстояния выдерживалась минимально возможной для обоих способов подачи электрода. После зажигания дуги и стабилизации процесса наплавки осуществляли регистрацию величины тока в сварочной цепи и напряжения на межэлектродном промежутке в течение 10 с. Полученные осциллограммы (рисунок 2 б) анализировали по критериям характеризующим стабильность процесса сварки: U_{rms} – среднеквадратичное напряжение на межэлектродном промежутке, I_{rms} – среднеквадратичное значение сварочного тока, N_{sc} – количество коротких замыканий за период регистрации, $t_{sc.mean}$ – средняя длительность коротких замыканий, $t_{sc.srd}$ – коэффициент вариации длительностей коротких замыканий, $T_{sc.mean}$ – среднее значение длительность периода между короткими замыканиями, $t_{sc.srd}$ – коэффициент вариации длительность периода между короткими замыканиями. Пример полученных результатов представлен в таблице.

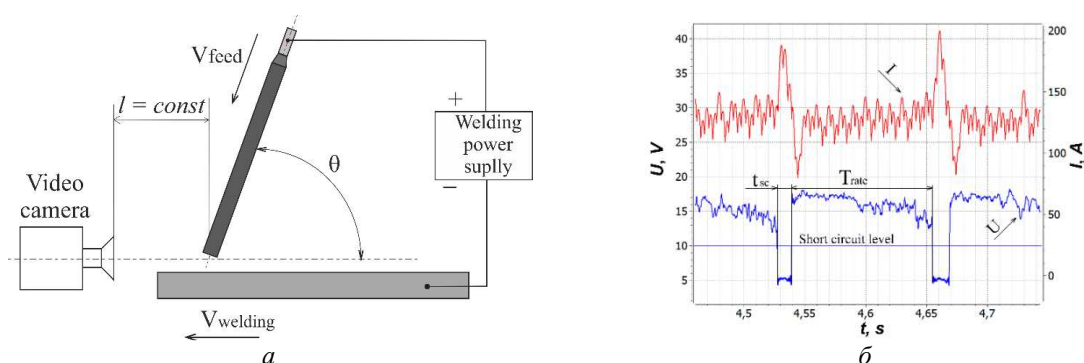


Рис. 2. Схема проведения эксперимента и осциллограмма сварочного тока и напряжения дуги при механизированной подаче электрода ОК46.00

Таблица

Средние результаты расчетов производительности электродами ОК46.00

Результаты расчетов							
Марка электродов	Способ подачи	Масса, г		Коэффициенты			Производительность, кг/ч
		Расплавленного металла	Наплавленного металла	Расплавления, г А/ч	Наплавки, г А/ч	Потерь, %	
ОК-46	Ручная	15,06	13,3	9,59	8,46	11,78	0,818
	Автоматическая	8,51	7,68	9,43	8,58	9,01	0,827

По полученным экспериментальным данным можно говорить о повышении производительности и уменьшении коэффициента потерь, при практически идентичных режимах сварки. Также это подтверждается повышением характеристик тепломассопереноса, не представленных в данной статье. Таким образом с помощью устройства автоматической подачи покрытых электродов можно повысить производительности при сварке и исключить влияние человека на результаты исследований, аттестаций и испытаний при дуговой сварке покрытыми электродами.

Список используемых источников:

1. Теория сварочных процессов: Учеб. Для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочного производства» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; под редакцией В.В. Фролова. – М.: Высшая шк., 1988. 559 с.: ил. ISBN 5–06–001473–8.
2. Милютин В.С. Сварочные свойства оборудования для дуговой сварки / В.С. Милютин, Р.Ф. Катаев. – Москва: Оформление, печать: ООО «НАКС Медиа», 2016. – 464 с.
3. Исследование стабильности плавления и переноса электродного материала в процессе дуговой сварки плавящимся электродом от источников питания с различными динамическими характеристиками / Ю.Н. Сараев [и др.] // Сварочное производство. – 2016. – № 12. – С. 3–10.
4. Methods for the determination of arc stability / Marjan Suban, Janez Tušek Journal of Materials Processing Technology 143–144 (2003) 430–437.
5. Masaya Shigeta, Takahiro Ikeda, Manabu Tanaka, Tetsuo Suga, Bovornchok Poopat, Somporn Peansukmanee, Niwat Kunawong, Ackadech Lersvanichkool, Hiroaki Kawamoto, Supot Thongdee, Kazuyuki Suenaga, Makoto Ota Qualitative and quantitative analyses of arc characteristics in SMAW Weld World (2016) 60:355–361 DOI 10.1007/s40194-015-0288-2.
6. Yu. N. Saraev, A. G. Lunev, V. M. Semenchuk, and A. S. Nepomnyashchii // Heat and mass transfer kinetics in arc welding process Russian Physics Journal, Vol. 62, No. 9, January, 2020 (Russian Original No. 9, September, 2019).
7. Cheng-Yu Wu, Pi-Cheng Tung, Chyun-Chau Fuh // Development of an automatic arc welding system using an adaptive sliding mode control Journal of Intelligent Manufacturing 21(4):355–362.
8. Стабильность процесса ручной дуговой сварке покрытыми электродами Ильященко Д.П. Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 199–201.
9. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом Ланкин Ю.Н. Автоматическая сварка. 2011. № 1 (693). С. 7–15.

СЕКЦИЯ 3

**Информационные технологии
и автоматизация
производственных процессов**

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ АНАЛОГОВЫХ ОКОНЧАНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

К.А. Батенков, д.т.н., доцент

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

302015, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35

E-mail: pustur@yandex.ru

Аннотация. Показана необходимость использования согласованного эталонного соединения для определения максимальных уровней мощности шума от национальных источников, отнесенных к виртуальной точке переключения международной цепи. Представлен пример определения уровней невзвешенных (эффективных) и психофотметрических шумов и их соответствия нормам для каналов различной протяженностью.

Ключевые слова: собственные шумы, психофотметрическая мощность, норма, канал тональной частоты, цифровая система передач.

Abstract. The necessity of using an agreed reference connection to determine the maximum noise power levels from national sources attributed to the virtual switching point of the international circuit is shown. An example of determining the levels of unweighted (effective) and psophometric noises and their compliance with the norms for channels of various lengths is presented.

Keyword: natural noises, psophometric power, norm, tonal frequency channel, digital transmission system.

Значение средней невзвешенной мощности шума P в зависимости от длины канала тональной частоты кабельных систем передачи не должно превышать указанного на рисунке 1

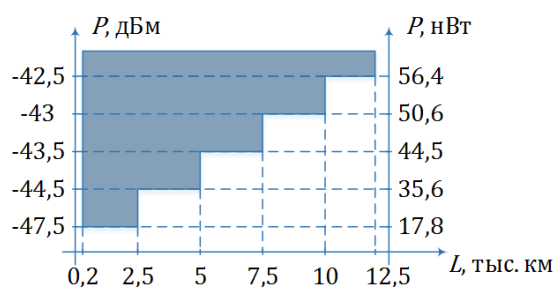


Рис. 1. Нормы на среднюю невзвешенную мощность шума P в зависимости от длины L канала тональной частоты кабельных систем передачи

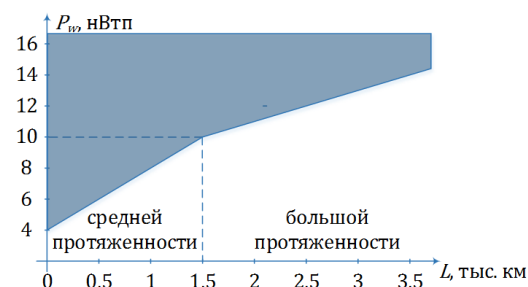


Рис. 2. Нормы на среднее значение психофотметрической мощности шумов P_w в зависимости от длины L канала тональной частоты кабельных систем передачи

Довольно просто получаются соотношения между эффективным U и психофотметрическим U_w значениями напряжений, мощности и уровней при условии равномерного распределения помехи по спектру (квазиглобального гауссовского шума в полосе частот 0,3–3,4 кГц). Тогда эффективные напряжение и ток почти в 1,33 раз больше психофотметрических [2, 3, 4]

$$U_w = 0,751U,$$

$$I_w = 0,751I,$$

и в 1,77 раз мощности

$$P_w = 0,564P,$$

что соответствует снижению уровня мощности на 2,49 дБ

$$P_w = P - 2,49 \text{ дБ}.$$

Желательно, чтобы мощность шума, вносимого в национальных сетях, была ограничена уровнем, возникающим в виртуальных точках коммутации – согласованном интерфейсе между национальной и международной сетями [5,6]. Для этого предполагают определенное распределение потерь внутри национальной сети. Решение состоит в том, чтобы принять согласованное эталонное соединение для определения максимальных уровней мощности шума от национальных источников, относенных к виртуальной точке переключения международной цепи [7, 8].

Обычно используют линейные формы вносимых шумов (рис. 2), отличающиеся коэффициентами для средних и больших стран (протяженностей каналов):

$$P_w = \begin{cases} 4(1+L), L < 1,5, \\ 7+2L, L \geq 1,5, \end{cases}$$

где P_w – максимально допустимое среднее значение психофотметрической мощности шумов, нВтп;
 L – протяженность канала, тыс. км [9, 10].

Пример.

При согласованной нагрузке напряжение шума в канале составило 3 мВ.

Определить уровни невзвешенных (эффективных) и психофотметрических шумов и их соответствие нормам для каналов протяженностью 1 тыс. км и 3 тыс. км.

Дано: $U = 3\text{мВ}$, $L_1 = 1\text{тыс. км}$, $L_2 = 3\text{тыс. км}$.

Найти: P' , P_w' .

Согласованная нагрузка канала тональной частоты составляет $Z = 600$ Ом. Тогда средняя невзвешенная мощность шумов

$$P = \frac{U^2}{Z} = \frac{3^2}{600} = 15(\text{нВт}).$$

Уровень невзвешенного шума рассчитывается относительно мощности $P_0 = 1$ мВт

$$P' = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{15 \cdot 10^{-6}}{1} = -48,24(\text{дБм}).$$

По мощности и уровню невзвешенного шума для обеих протяженностей канал удовлетворяет нормам (рис. 1, табл. 1): $-48,24 < -47,5$ ($L_1 = 1$ тыс. км) и $-48,24 < -44,5$ ($L_2 = 3$ тыс. км).

Таблица 1.

Соответствие нормам собственных шумов

протяженность канала, тыс. км	1		3	
показатель	уровень невзвешенного шума P' , дБм	средняя мощность психофотметрического шума P_w , нВтп	уровень невзвешенного шума P' , дБм	средняя мощность психофотметрического шума P_w , нВтп
норма	-47,5	8	-44,5	13
измеренные значения	-48,24	8,46	-48,24	8,46

Уровень психофотметрического шума для случая квазиглобального шума на 2,49 дБ ниже невзвешенного

$$P_w' = P' - 2,49 = -48,24 - 2,49 = -50,73(\text{дБмп})$$

Средняя мощность психофотметрического шума

$$P_w = 10^{\frac{P_w}{10}} = 10^{\frac{-50,73}{10}} = 8,46 (\text{нВтп}).$$

Нормы для рассматриваемых протяженностей составляют

$$P_w(L) = \begin{cases} 4(1+L), L < 1,5, \\ 7+2L, L \geq 1,5: \end{cases}$$
$$P_w(1) = 4(1+L) = 4(1+1) = 8 (\text{нВтп}),$$
$$P_w(3) = 7+2L = 7+2 \cdot 3 = 13 (\text{нВтп}),$$

Таким образом, для канала средней протяженности ($L_1 = 1$ тыс. км) нормы не удовлетворяются: $8,46 > 8$, а для большой протяженности ($L_2 = 3$ тыс. км) удовлетворяются: $8,46 < 13$ (табл. 1).

Список используемых источников:

1. ГОСТ 21655–87. Каналы и тракты магистральной первичной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений. – Введ. 1989–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 106 с.
2. Rec. Q.45. Transmission characteristics of an analogue international exchange. – 1984. – Geneva : ITU-T, 1984. – 10 p.
3. Нормы на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризоновых первичных сетей : Утв. М-вом связи РФ 15.04.96. – М. : МК-Полиграф, 1996. – 96 с.
4. Rec. O.41. Psophometer for use on telephone-type circuits. – 1994–10. – Geneva : ITU-T, 1994. – 17 p.
5. Rec. G.120. Transmission characteristics of national networks. – 1998–12. – Geneva : ITU-T, 1998. – 17 p.
6. Батенков К. А. Границы вероятности символьной ошибки для канала связи с логнормальными замираниями при использовании предсказаний и помехоустойчивого кодирования / Батенков К.А., Гусев В.В., Илюшин М.В., Катков О.Н., Мельников А.А., Стремюхов М.В. // Телекоммуникации. 2018. № 2. С. 45-48.
7. Батенков К. А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. С. 604.
8. Батенков К. А. Необходимые условия оптимальности операторов модуляции и демодуляции // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. составители: А.В. Калачев, В.В. Белозерских. 2013. С. 58-62.
9. Батенков К. А. Обобщенный пространственно-матричный вид энергетических ограничений систем связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 238-245.
10. Батенков К. А. Дискретные отображения модели непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 43. С. 12-20.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ МОНОГОРОДА

А.А. Захарова, профессор, д.т.н., Л.Ю. Захаров, студент.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

634050, г. Томск, пр. Ленина, 407

E-mail: zacharova@mail.ru

Аннотация. в статье представлены результаты разработки программного обеспечения информационной системы поддержки принятия решений для поддержки принятия решений об опережающей подготовке кадров моногорода. Описан основной функционал, перечень отчетов (аналитической информации для принятия решений), приведены примеры окон программы. Программа разработана на технологической платформе 1С: Предприятие 8.3.

Ключевые слова: моногород, опережающая подготовка кадров, программное обеспечение, система поддержки принятия решений.

Abstract. the article presents the results of the development of software for an information decision support system to support decision-making on advanced training of personnel in a single-industry town. The main functionality, a list of reports (analytical information for decision-making) are described, examples of program windows are presented. The program was developed on the technological platform 1C: Enterprise 8.3.

Key words: single-industry town, advanced training, software, decision support system.

Проблема подготовки опережающей подготовки кадров для моногородов является важной, поскольку именно соответствие профессионально-квалификационной структуры населения города имеющимся потребностям рынка труда (текущей и перспективной) позволяет создать условия для успешного социально-экономического развития города, преодоления монопрофильности, предотвращения оттока населения и т.д. Для обеспечения информационной поддержки сетевого взаимодействия заинтересованных в подготовке кадров субъектов (население, администрация, работодатели, учебные заведения) в [1] была поставлена задача разработки программного обеспечения системы поддержки принятия решений при формировании и развитии системы опережающей подготовки кадров моногорода (СОПКМ). Авторами был разработан прототип данной системы (далее – ИСОПКМ).

Программный продукт реализован на технологической платформе 1C: Предприятие 8.3.

Программа предназначена для учета и анализа информации от основных субъектов опережающей подготовки кадров моногорода (администрации, работодателей, учебных заведений, населения) и может применяться для мониторинга, анализа и прогнозирования потребностей рынка труда и образования моногорода.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- учет информации от работодателей о текущих и прогнозных вакансиях, упраздняемых должностях;
- учет информации об образовательных программах моногорода;
- учет информации о резидентах территории опережающего развития (ТОР) и их вакансиях;
- учет предпочтений населения при выборе вакансий для трудоустройства;
- анализ и прогнозирование потребностей рынка труда;
- анализ соответствия образовательных программ потребностям развития моногорода;
- полный цикл организации экспертиз;
- мониторинг факторов (показателей) СОПКМ;
- экспертная оценка факторов СОПКМ;
- анализ и оценка важности и взаимосвязей факторов СОПКМ на основе нечетких моделей;
- оценка альтернатив развития СОПКМ;
- оценка состояния СОПКМ в динамике.

В прототипе ИСОПКМ учтена специфика цифровой поддержки мониторинга и принятия решений в области опережающей подготовки кадров моногорода, а также концептуальные методологические принципы разработки информационного обеспечения для сетевого взаимодействия основных участников опережающей подготовки инженерно-технических и педагогических кадров моногородов-ТОР. Созданный набор инструментов позволяет выявлять базовые закономерности развития СОПКМ, обладает способностью прогнозирования развития системы подготовки кадров для моногородов-территорий опережающего развития.

В качестве иллюстрации приведем отдельные примеры форм и инструментов ИСОПКМ,

1. В ИСОПКМ выделяются следующие роли пользователей: ЛПР; аналитик; эксперт; администратор; индивидуум; учебное заведение (образовательная организация); работодатель; органы государственного управления.
2. Роль пользователя определяет вид его личного кабинета, состав доступных инструментов для учета информации, формирования отчетов, создания моделей принятия решений. Пример личного кабинета индивидуума представлен на рис.1 (слева располагается панель выбора инструментов для работы с базой данных со стороны индивидуума; в центре располагается модуль моделей принятия решений; справа располагается актуальная информация для индивидуума по последним вакансиям, внесенным работодателем). Аналогично устроены личные кабинеты остальных пользователей.

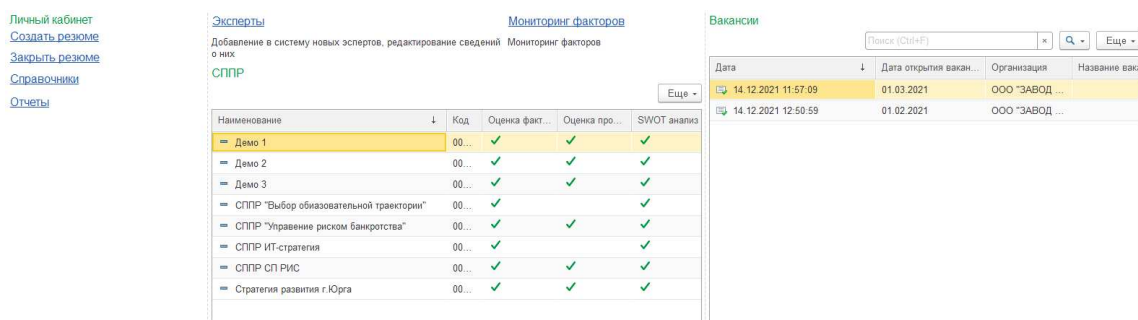


Рис. 1. Вид личного кабинета индивидуума

3. ИСОПКМ предоставляет информационную среду для обеспечения сетевого взаимодействия всех заинтересованных в подготовке кадров субъектов, а также обеспечить процессы принятия решений адекватной информацией. Доступ к информации, внесенной в базу данных разными пользователями, осуществляется через систему отчетов (пример выбора списка отчетов представлен на рис.2, а также через инструменты навигации в правой панели личного кабинета.

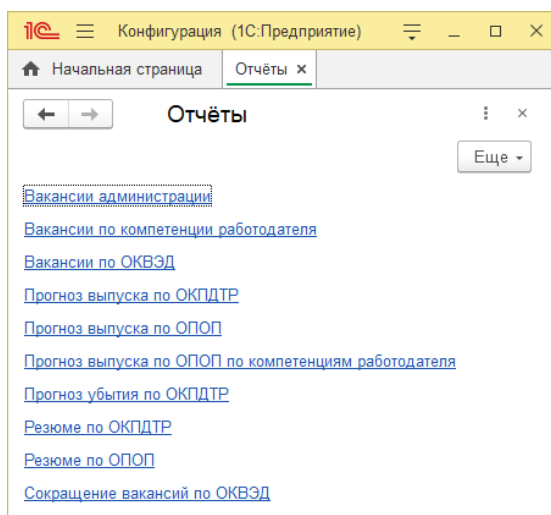


Рис. 2. Пример списка отчетов ИСОПКМ

- роде новых предприятий - резидентов TOP, а, соответственно, является инструментом оценки влияния TOP на рынок труда моногорода;
- отчет «Вакансии по компетенции работодателя» позволяет выявить наиболее востребованные компетенции на рынке труда, а также установить отбор по формам работы, что также дает информацию для принятия решений как индивидуумам для принятия решений о своей образовательной траектории, так и вузам при принятии решений о содержании своих образовательных программ;
 - отчет «Вакансии по ОКВЭД» позволяет делать вывод об эффективных отраслях моногорода с точки зрения создания рабочих мест и влияния на рынок труда;
 - отчет «Прогноз выпуска по ОПОП» позволяет анализировать информацию по потребностям трудоустройства специалистов по специальностям; здесь ОПОП – основная профессиональная образовательная программа»;
 - отчет «Прогноз выпуска по ОПОП по компетенции» позволяет понять, для каких компетенций рынка труда (работодателей) будут подготовлены специалисты в учебных заведениях города, что позволяет понять, на какие компетенции нацелены ОПОП и соответствуют ли они потребностям рынка труда;
 - отчет «Прогноз убытия по ОКПДТР» позволяет спрогнозировать профессии (в соответствии с ОКПДТР), на которые спрос на рынке труда будет снижаться; а так как ОПОП также привязаны к ОКПДТР, то оценить прогнозную востребованность ОПОП на рынке труда;

- отчет «Резюме по ОПОП» позволяет проанализировать, какое количество выпускников образовательных организаций по образовательным программам ищут работу на рынке труда, что позволяет судить о трудоустройстве выпускников;
- отчет «Резюме по ОКПДТР» позволяет проанализировать какое количество индивидуумов, обладающих профессией по ОКПДТР, ищут работу;
- отчет «Прогноз выпуска по ОКПДТР» позволяет установить соответствие между количеством выпускников и вакансиям в разрезе ОКПДТР, то есть проанализировать то, будут ли обеспечены выпускники ОПОП местами трудоустройства.

Рис. 3. Пример результатов оценки проектов Администрации города по иерархической модели оценки проектов развития субъекта СОПКМ

Параметры: Период: 01.01.2020 - 31.01.2025		01.01.2022	01.01.2023	Итого
ОКСО	ОПОП	Количество Приход	Количество Приход	Количество Приход
НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ - БАКАЛАВРИАТА		23	11	34
Инженерное дело, технологии и технические науки		23	11	34
Информатика и вычислительная техника		23	11	34
Прикладная информатика		23	11	34
Прикладная информатика в экономике		23	11	11
Прикладная информатика в экономике		23	11	23
Итого		23	11	34

Рис. 4. Отчет «Прогноз выпуска по ОПОП»

Следует отметить, что это не конечный список отчетов, поскольку структура модели базы данных позволяет сопоставлять и анализировать различные варианты показателей, касающихся ОПОП, вакансий, резюме, ТОП, компетенций ОПОП, компетенций работодателей, компетенций индивидуумов, форм работы, ОКВЭД, ОКСО, ОКПДТР и т.д.

Проведена апробация разработанных моделей принятия решений и прототипов отдельных модулей подсистем ИСОПКМ, на примере данных и задач принятия решений субъектов СОПКМ моногорода Юрга.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19 - 013 - 004864.

Список используемых источников:

1. Захарова А.А., Захаров Л.Ю. Информационная система опережающей подготовки кадров моногорода: концепция, функции и состав модулей // Доклады ТУСУР. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 62–68. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-3-62-68

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АНАЛИЗА ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В КОТЕЛЬНОМ ЦЕХЕ

Е.В. Телипенко, доцент, к.т.н.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета

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

E-mail: telipenko@tpu.ru

Аннотация. в статье рассматривается реализация информационной системы учета и анализа проведения ремонтных работ в котельном цехе. В результате разработана информационная система, реализующая основные функции: учет сотрудников и оборудования в цехах, учет текущих ремонтных работ и их выполнения, учет материалов, анализ проведения ремонтных работ.

Ключевые слова: предприятие, отчет, документ, справочник, ремонтный материал, информационная система, анализ, предметная область, сотрудники, теплоэлектроцентраль, цеха, оборудование, журнал.

Abstract. the article discusses the implementation of an information system for accounting and analysis of repair work in the boiler shop. As a result, an information system has been developed that implements the main functions: accounting for employees and equipment in workshops, accounting for current repair work and their implementation, accounting for materials, analysis of repair work.

Keyword: enterprise, report, document, directory, repair material, information system, analysis, subject area, employees, thermal power plant, workshops, equipment, magazine.

Инструментом разработки была выбрана платформа «1С: Предприятие 8.3». Разработанная ИС содержит 9 справочников.

Справочники системы

Справочник «Материалы» хранит информацию об материалах. Реквизиты объектов вносятся вручную (рис.1).

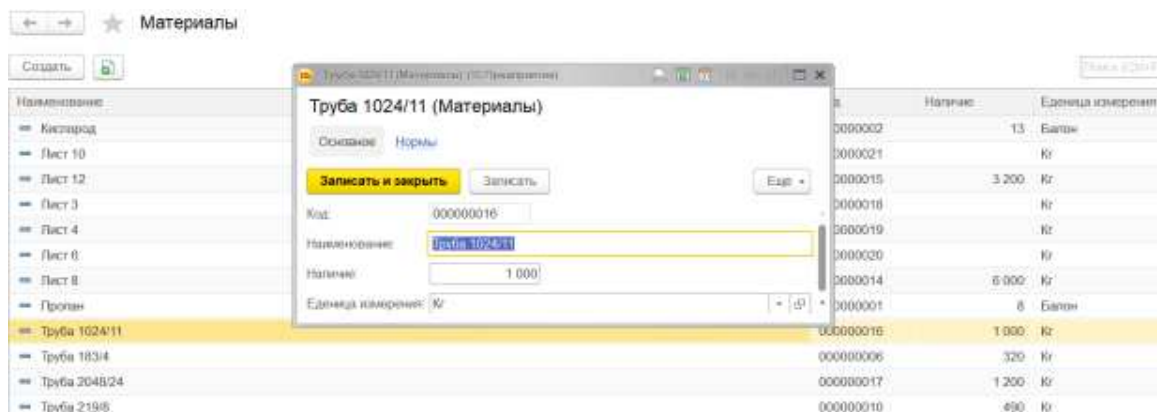


Рис. 1. Форма справочника «Материалы»

Справочник «Единица измерения» хранит информацию о единицах измерения и предназначен для учета материалов. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Цеха» хранит информацию о цехах. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Объекты» хранит информацию о объектах котельных установок. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Инструменты» хранит информацию о инструментах. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Сотрудники» хранит информацию о Сотрудниках. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Звено» хранит информацию о звеньях куда входят сотрудники для проведения ремонтных работ. Данные справочника вводятся вручную.

Справочник «Защитные средства» хранит информацию о средствах индивидуальной защиты. Данные справочника вводятся вручную.

Документы

Для хранения оперативной информации о событиях, происходящих в информационной системе, были созданы 8 документов.

Документ «План ежедневного обхода» содержит информацию об объекте, его отметку и время обхода.

Документ «Журнал регистрации дефектов оборудования» фиксирует дефекты выявлены оперативным персоналом путем обхода оборудования, исходя из «Плана ежедневного обхода» (рис. 2).

← → ☆ Журнал регистрации дефектов оборудования 000000006 от 15.04.2021 0:25:33

Провести и закрыть Записать Провести Создать на основании ▾

Номер: 000000006

Дата: 15.04.2021 0:25:33

Добавить ↑ ↓

N	Время записи	Наименование оборудования	Сущность дефектов	Замечания начальника смены о времени выполнении	Ед изм	Отметка мастера об устранении дефектов
1	2:00:00	Котел 3	Необходимые мероприятия по их устранению Утрата целостности балки перегружателя Демонтаж старой, монтаж новой			✓

Рис. 2. Документ «Журнал регистрации дефектов оборудования»

Документ «Дефектная ведомость» создан на основании «Журнал регистрации дефектов оборудования» (рис.3).

← → ☆ Дефектная ведомость 000000006 от 15.04.2021 0:25:34 *

Провести и закрыть Записать Провести Создать на основании ▾

Номер: 000000006

Дата: 15.04.2021 0:25:34

Дефектная ведомость: На замену балки перегружателя

Обнаруженные дефекты: Деформация целостности корпуса

Журнал регистрации дефектов оборудования: Журнал регистрации дефектов оборудования 000000006 от 15.04.2021 0:25:33

Объем работ по устранению: Материалы необходимые для устранения

Добавить ↑ ↓

N	Наименование работ	Ед-из	Кол-во	Примечание
1	Разбор кирпичной кладки			
2	Демонтаж, путем газовой резки балки, 5 метров			
3	Подготовка новой балки для монтажа			
4	Создание креплений			
5	Монтаж			

Рис. 3. Документ «Дефектная ведомость»

Документ «Журнал сменных заданий ремонтного персонала» создан на основании «Дефектная ведомость» (рис. 4).

← → ☆ Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23

Основное Текущий ремонт

Провести и закрыть Записать Провести Печать

Номер: 000000007

Дата: 22.04.2021 9:40:23

Дефектная ведомость: Дефектная ведомость 000000006 от 15.04.2021 0:25:34

Добавить ↑ ↓

N	Звено	Содержание ремонтному персоналу	Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Отметка о выполнении задания
1	Звено 1	Разбор кирпичной кладки	15.04.2021	15.04.2021	✓
2	Звено 1	Демонтаж, путем газовой резки бал...	15.04.2021	15.04.2021	✓
3	Звено 2	Подготовка новой балки для монтажа	15.04.2021	15.04.2021	✓
4	Звено 2	Создание креплений	15.04.2021	15.04.2021	✓
5	Звено 1	Монтаж	16.04.2021	16.04.2021	✓

Рис. 4. Документ «Журнал сменных заданий ремонтного персонала»

Документ «Журнал регистрации работ, выполняемых по наряду» Создан на основании «Плана ежедневного обхода» (рис.5).

← → ☆ Журнал регистрации работ выполняемых по наряду 000000002 от 12.04.2021 12:34:55

Провести и закрыть Записать Провести Создать на основании ▾

Номер: 000000002

Дата: 12.04.2021 12:34:55 📅

Наименование оборудования: Вывести в ремонт котел №2, Дымосос стороны А

К работе приступили дата и время: 12.04.2021 8:00:00 📅

Работу закончили дата и время: 12.04.2021 3:55:00 📅

Добавить ⬆ ⬇ ⬆

N	Необходимые мероприятия по их устранению
1	Демонтаж корпуса дымососа
2	Создание заготовки части корпуса
3	Можнаж корпуса

Рис. 5. Документ «Журнал регистрации работ, выполняемых по наряду»

Документ «Журнал заявок на вывод в ремонт и остановку основного оборудования». Создаётся в случае вывода в ремонт действующего оборудования.

Документ «Наряд - допуск». Создаётся на основании «Журнал регистрации работ выполняемых по наряду» (рис.6)

← → ☆ Наряд - допуск 000000001 от 12.04.2021 12:34:54

Провести и закрыть Записать Провести Печать Создать на основании ▾

Номер: 000000001

Дата: 12.04.2021 12:34:54 📅

Наименование организации, предприятия: ООО ЮТЭЦ

Наряд - допуск на производство работ повышенной опасности от: 12.04.2021 📅

1 2 10 12

Ответственному исполнителю работ: Попов Андрей Сергеевич ▾ 📄

С бригадой в составе (Человек): 4

Добавить ⬆ ⬇ ⬆

N	Произвести следующие работы
1	Демонтаж дефектного участка
2	Обработка торцов труб под сварочные мероприятия
3	Монтаж заготовки
4	Сварка

Рис. 6. Документ «Наряд - допуск» вкладка 1.

Документ «Поступление материалов» предназначен для учета ремонтного материала (рис. 7).

← → ☆ Поступление материалов 000000006 от 07.02.2021 12:00:00

Провести и закрыть Записать Провести

Номер: 000000006

Дата: 07.02.2021 12:00:00 📅

Добавить ⬆ ⬇ ⬆

N	Наименование материала	Кол-во	Ед-из
1	Труба 527/6	202	Кг
2	Труба 432/8	539	Кг
3	Труба 328/6	720	Кг
4	Труба 325/10	720	Кг
5	Труба 256/6	225	Кг
6	Труба 256/ 8	335	Кг
7	Труба 219/8	123	Кг
8	Труба 183/4	490	Кг
9	Электроды УОНИ 13/55 3	150	Кг

Рис. 7. Документ «Поступление материалов»

Секция 3: Информационные технологии и автоматизация производственных процессов

Отчеты системы

Данная информационная система содержит 5 отчетов.

Отчет о выполнении ремонтных работ по дефектным ведомостям показывает информацию о дате начала и окончания ремонта, наименование работ и информация о процессе ремонта (рис. 8).

← → ☆ Отчет о выполнении ремонтных работ по дефектным ведомостям

Сформировать Выбрать вариант... Настройки...

Дефектная ведомость	№ в группе	Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Работа	Ответственный	Отметка о выполнении задания
Дефектная ведомость 000000001 от 15.03.2021 12:00:00						
	1	05.04.2021	07.04.2021	Замена прямых труб 325/10	Звено 1	В процессе
	2	08.04.2021	12.04.2021	Изготовление Секторных отводов трубы до 219/10	Звено 2	Выполнено
	3	08.04.2021	12.04.2021	кнаквнук	Звено 2	В процессе
Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00						
	1	05.04.2021	19.04.2021	Монтаж - демонтаж лопаток ротора	Звено 1	Выполнено
	2	01.04.2021	02.04.2021	Создание лопаток ротора	Звено 1	Выполнено
Дефектная ведомость 000000002 от 11.04.2021 18:01:29						
	1	12.04.2021	13.04.2021	Создание перехода 540 - 320	Звено 1	Выполнено
Дефектная ведомость 000000004 от 12.04.2021 18:38:54						
	1	12.04.2021	13.04.2021	Демонтаж дифектного участка	Звено 1	Выполнено
	2	12.04.2021	13.04.2021	Подготовка заготовки	Звено 2	Выполнено
	3	13.04.2021	14.04.2021	Монтаж	Звено 1	Выполнено
Дефектная ведомость 000000006 от 15.04.2021 0:25:34						
	1	15.04.2021	15.04.2021	Разбор кирпичной кладки	Звено 1	Выполнено
	2	15.04.2021	15.04.2021	Демонтаж, путем газовой резки балки, 5 метров	Звено 1	Выполнено
	3	15.04.2021	15.04.2021	Подготовка новой балки для монтажа	Звено 2	Выполнено
	4	15.04.2021	15.04.2021	Создание креплений	Звено 2	Выполнено
	5	16.04.2021	16.04.2021	Монтаж	Звено 1	Выполнено
Дефектная ведомость 000000005 от 22.04.2021 9:10:22						
	1	14.04.2021	15.04.2021	Вырубка заплаток, монтаж путем наложения и обварки	Звено 1	Выполнено
Дефектная ведомость 000000007 от 22.04.2021 9:56:27						
	1	08.03.2021	21.03.2021	Демонтаж старых труб	Звено 1	Выполнено
	2	15.03.2021	18.03.2021	Создание труб в размер	Звено 2	Выполнено
	3	19.03.2021	31.03.2021	Загибание труб по проэтному плану	Звено 2	Выполнено
	4	22.03.2021	23.03.2021	Монтаж лесов	Звено 1	Выполнено
	5	05.04.2021	05.04.2021	Транспортировка готовых заготовок на ТЭЦ	Звено 2	Выполнено
	6	12.04.2021	30.04.2021	Монтаж готовых заготовок в котел	Звено 2	В процессе

Рис. 8. Отчет о выполнении ремонтных работ по дефектным ведомостям

Отчет о выполнении текущих работ показывает информацию о дате начала и окончания ремонта, журналы сменных заданий, которые включены в дефектные ведомости и процент выполненных работ (рис. 9).

← → ☆ Отчет о выполнении текущих работ

Сформировать Выбрать вариант... Настройки...

Дефектная ведомость	Журнал сменных заданий	Количество этапов	Завершено этапов	% завершения	Содержание ремонтнуперсоналу	Отметка о выполнении задания
Дефектная ведомость 000000001 от 15.03.2021 12:00:00		9	1			11,11
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000001 от 07.04.2021 22:37:28	05.04.2021	07.04.2021		Замена прямых труб 325/10	-
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000002 от 07.04.2021 23:53:15	08.04.2021	12.04.2021		Изготовление Секторных отводов трубы до 219/10	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000002 от 07.04.2021 23:53:15	08.04.2021	12.04.2021		кнаквнук	-
Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00		3	2			66,67
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000004 от 12.04.2021 11:10:35	05.04.2021	19.04.2021		Монтаж - демонтаж лопаток ротора	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000004 от 12.04.2021 11:10:35	01.04.2021	02.04.2021		Создание лопаток ротора	Выполнено
Дефектная ведомость 000000002 от 11.04.2021 18:01:29		3	1			33,33
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000003 от 12.04.2021 11:01:36	12.04.2021	13.04.2021		Создание перехода 540 - 320	Выполнено
Дефектная ведомость 000000004 от 12.04.2021 18:38:54		3	3			100,00
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02	12.04.2021	13.04.2021		Демонтаж дифектного участка	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02	12.04.2021	13.04.2021		Подготовка заготовки	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02	13.04.2021	14.04.2021		Монтаж	Выполнено
Дефектная ведомость 000000006 от 15.04.2021 0:25:34		5	5			100,00
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23	15.04.2021	15.04.2021		Разбор кирпичной кладки	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23	15.04.2021	15.04.2021		Демонтаж, путем газовой резки балки, 5 метров	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23	15.04.2021	15.04.2021		Подготовка новой балки для монтажа	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23	15.04.2021	15.04.2021		Создание креплений	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000007 от 22.04.2021 9:40:23	16.04.2021	16.04.2021		Монтаж	Выполнено
Дефектная ведомость 000000005 от 22.04.2021 9:10:22		1	1			100,00
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000006 от 14.04.2021 12:00:01	14.04.2021	15.04.2021		Вырубка заплаток, монтаж путем наложения и обварки	Выполнено
Дефектная ведомость 000000007 от 22.04.2021 9:56:27		6	5			83,33
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	08.03.2021	21.03.2021		Демонтаж старых труб	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	15.03.2021	18.03.2021		Создание труб в размер	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	19.03.2021	31.03.2021		Загибание труб по проэтному плану	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	22.03.2021	23.03.2021		Монтаж лесов	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	05.04.2021	05.04.2021		Транспортировка готовых заготовок на ТЭЦ	Выполнено
	Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000008 от 01.03.2021 12:00:01	12.04.2021	30.04.2021		Монтаж готовых заготовок в котел	-

Рис. 9. Отчет о выполнении текущих работ

Отчет о материалах, находящихся в наличии, показывает информацию о наличии ремонтного материала на складах.

Отчет о расходах материалов, показывает информацию о расходе материалов по дефектным ведомостям.

Отчет требуемых материалов, по сколько ТЭЦ является стратегическим предприятием на нём должен имеется запас на случай экстренного ремонта. Данный отчет необходим для демонстрации недостающего материал (рис. 10).

Материал	Ед-им	Норма	Начальный остаток	Поступление	Расход	остаток на данный период	Необходимо материала
Кислород	Балон	20	12	5	15	2	18
Электроды УОНИ 13/55 4	Kg	500	100		4	96	404
Труба 325/10	Kg	2 100	500	720	134	1 086	1 014
Труба 219/8	Kg	2 200	600	123	209	514	1 686
Лист 8	Kg	5 500	439	600	990	49	5 451
Пропан	Балон	9	14		7	7	2
Труба 183/4	Kg	1 990		490		490	1 500
Труба 228/6	Kg	1 500		600	15	585	915
Труба 256/ 8	Kg	1 330		335		335	995
Труба 256/6	Kg	1 350		225		225	1 125
Труба 328/6	Kg	1 670		720		720	950
Труба 432/8	Kg	1 400		1 400		1 400	
Труба 527/6	Kg	1 900		202		202	1 698

Рис. 10. Отчет о требуемых материалах

Созданная информационная система предоставляет возможность эффективно вести учет о поступлении и расходе ремонтного материала и своевременно докупать заканчивающиеся или недостающие материалы. Это позволит незамедлительно производить экстренный ремонт на стратегическом предприятии, также система даёт возможность анализировать ремонтные работы.

Эффект от интеграции информационной системы заключается в следующем:

- повышения эффективности работы по анализу проведения ремонтных работ па предприятии.
- снижение времени на ввод, поиск, обработку и вывод необходимой информации;
- возможность своевременного принятия управленческого решения.

Список используемых источников:

1. Матанский Е.И., Телипенко Е.В. Информационная система учета и анализа проведения ремонтных работ в котельном цехе ООО "ЮТЭЦ" // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. - 116 с.

МОДЕЛЬ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТЕПЕНИ УЯЗВИМОСТИ УЧАСТКОВ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Разумников С.В., доцент, к.т.н.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)77764

E-mail: demolove7@inbox.ru

Аннотация. Облачные сервисы, как и любые технические средства, имеют уязвимости и подвержены поломкам. В статье предлагается модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I. Данная модель позволит определить участок

или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности.

Ключевые слова: облачные технологии, модель, уязвимости, метод ELECTRE I.

Annotation. Cloud services, like any technical means, have vulnerabilities and are prone to breakage. The article proposes a model for determining the degree of vulnerability of cloud computing sites based on the ELECTRE I method. This model will allow you to determine the site or sites that are most at risk of breakdown or failure, and remove dominated alternatives that do not pose a serious danger.

Keywords: cloud technologies, model, vulnerabilities, ELECTRE I method.

Введение.

Облачные технологии прочно вошли в нашу жизнь. Все больше и больше предприятий рассматривают возможность перенести свою ИТ-инфраструктуру в облака полностью или хотя бы частично [1, 2]. После выбора облачных сервисов для использования и их внедрения на предприятии следующим этапом их жизненного цикла становится сопровождение, управление их работой [3-5]. Облачные сервисы, как и любые технические средства, имеют уязвимости и подвержены поломкам. Важно как можно раньше выявить эти неисправности и принять решение об их устранении [3-5].

В принятии решений при проведении анализа часто приходится работать с различными значениями или оценками, которые еще имеют важность. Для проведения оценки в такой ситуации хорошо зарекомендовали себя бинарные отношения и теория графов. Один из методов, которые использует эти теории и часто используется на практике принятия решений – это метод ELECTRE I. В нем разработана процедура многокритериального выбора наиболее предпочтительных альтернатив, и включает несколько этапов.

На основе этого метода предлагается модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений, что позволит выявить наиболее подверженные опасности поломки и принять решение на их устранение в первую очередь.

Облачные вычисления для предприятий

Облако – это виртуальная ИТ-инфраструктура (серверы, хранилища данных, сетевое оборудование и т.д.), на базе которой развертываются корпоративные программы и сервисы. Примеры таких сервисов – бухгалтерия, базы данных, удаленные офисы, CRM-системы и т. д.

Облако хранится в удаленном дата-центре провайдера. Инфраструктура доступна через интерфейс, в котором осуществляется администрирование и мониторинг системы. Поддержка и обслуживание физических компонентов облака, то есть серверов – ответственность провайдера.

Основное отличие облака от других инфраструктурных решений – гибкость конфигурации. Например, через веб-интерфейс можно моментально увеличить или уменьшить объем оперативной памяти, задействовать или отключить процессорные ядра. При этом стоимость аренды мощностей меняется соответственно: меньше ресурсов – меньше оплата.

Потребности каждой компании уникальны. Кому-то важно сэкономить средства, для кого-то ключевой вопрос – безопасность, кто-то сосредоточен на оптимизации операционной деятельности. Использование облачных технологий в бизнесе зависит от сегмента компании, ее размера, стратегии, оргструктуры и даже от ограничений законодательства [6-10].

Таким образом, важным моментом является поддержка целостности и работоспособности облачных сервисов. Эта задача ложится, прежде всего, на провайдера, но что-то может выполняться и силами сотрудников предприятия [6-10]. Рассмотрим возможность использования метода ELECTRE I для построения модели принятия обоснованного решения по определению степени уязвимости участков облачных вычислений.

Модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений

На основе использования метода ELECTRE I предлагается модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений. На рис. 1 представлена модель (схема) использования метода ELECTRE I для принятия решений.

Данная модель позволит определить участок или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности. На основе выявленных предпочтений можно принять решение об устранении неполадок по выбранным участкам облачного сервиса.

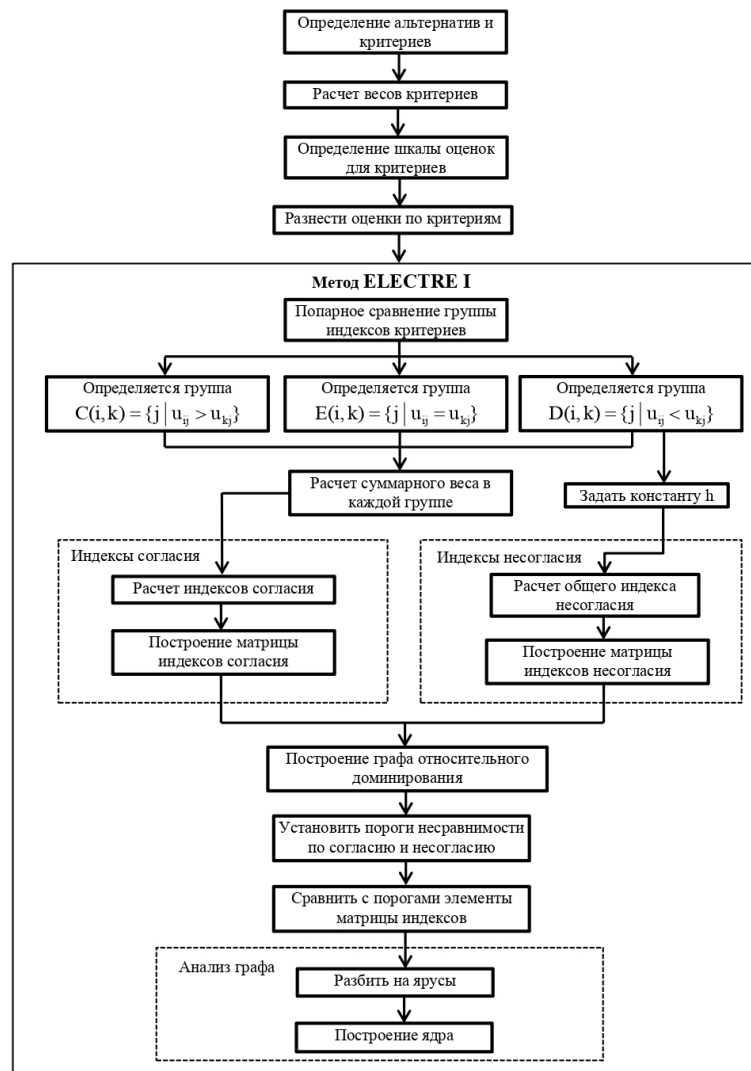


Рис. 1. Модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I

Заключение

Метод ELECTRE I хорошо используется на практике и помогает успешно решать задачи в области принятия решений. На основе данного метода была предложена модель по определению степени уязвимости участков облачных вычислений. Данная модель позволит определить участок или участки, которые наиболее подвержены опасности поломки или выхода из строя, и удалить доминируемые альтернативы, которые не представляют серьезной опасности. На основе выявленных предпочтений можно принять решение об устранении неполадок по выбранным участкам облачного сервиса.

Список используемых источников:

1. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments / W. Lin, H. Wang, Y. Zhang, D. Qi, J.Z. Wang, V. Chang // Information Sciences. – Vol. 468. – November 2018. – P. 47–62.
2. Paul PK; Ghose MK (2012). Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging need in the academic and working area of Information Science. International conference on modelling optimization and computing, 38, 2222-2227.
3. Reynolds, P; Yetton, P. (2015). Aligning business and IT strategies in multi-business organization. Journal of information technology, 30 (2), 101-118.

4. Lin W, Wang H., Zhang Y., Qi D., Wang J.Z., Chang V. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments. Information Sciences, 2018, vol. 468, pp. 47–62.
5. Jones, S (2015). Cloud computing procurement and implementation: Lessons learnt from a United Kingdom case study. International journal of information management, 35 (6), 712-716.
6. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69.
7. Разумников С.В. Оценка эффективности и рисков применения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. - 2014 - Т. 184. № 4. - С. 294-304.
8. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23. № 1. С. 53-61.
9. Разумников С.В. Разработка программного обеспечения агрегированных рейтингов на основе метода порогового агрегирования // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 138-152.
10. Разумников С.В. Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии: монография / С.В. Разумников; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 176 с.

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В РОБОТИЗИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ
НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

Д.О. Долматов, к.т.н., инженер,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

Аннотация. Работа посвящена проблеме получения результатов высокой информативности в роботизированном ультразвуковом контроле. В контексте указанной проблемы рассматривается применение цифровой когерентной обработки сигналов антенных решеток на основе метода синтезированной апертуры (Synthetic Aperture Focusing Technique). В данной работе предложен алгоритм цифровой когерентной обработки сигналов антенных решеток для роботизированного ультразвукового контроля. Результаты верификации, полученные с применением компьютерного моделирования, свидетельствуют об эффективности разработанного алгоритма.

Ключевые слова: Ультразвуковой неразрушающий контроль, роботизированные системы ультразвукового контроля, антенные решетки, метод синтезированной апертуры, объекты сложной формы.

Abstract. The paper is devoted to the problem of obtaining results of high information content in robotic ultrasound control. In the context of this problem, the application of digital coherent signal processing of antenna arrays based on the Synthetic Aperture Focusing Technique is considered. In this paper, an algorithm for digital coherent signal processing of antenna arrays for robotic ultrasound control is proposed. The verification results obtained using computer modeling indicate the effectiveness of the developed algorithm.

Keyword: Ultrasonic non-destructive testing, robotic ultrasound control systems, antenna arrays, synthesized aperture method, objects of complex shape.

Важным вопросом развития ультразвукового неразрушающего контроля является повышение его производительности. Этим фактом обусловлен интерес к разработке и использованию автоматизированных систем ультразвукового неразрушающего контроля. При этом в последнее время большой интерес представляет создание и эксплуатация роботизированных систем, что связано с потенциальными преимуществами использования подобного оборудования. Во-первых, автоматизированные системы ультразвукового контроля на базе роботизированных манипуляторов обладают гибкостью к изменяющейся номенклатуре контролируемых изделий. Во-вторых, подобные системы способны обеспечить высокую повторяемость контроля объектов сложных форм. В-третьих, роботизированные манипуляторы способны обеспечить высокую скорость сканирования объектов различной формы и, соответственно, высокую производительность контроля. Наконец, роботизированный контроль может осуществлен удаленно, без непосредственного присутствия оператора возле объекта, что имеет значение при дефектоскопии в опасных производственных условиях.

Проблеми отримання і представлення результатів, являються актуальними питаннями досліджень і розробок в області роботизованого ультразвукового контролю [1, 2]. В цій зв'язі представляє інтерес застосування методу синтезованної апертури (Synthetic Aperture Focusing Technique), який забезпечує отримання результатів контролю в формі зображень дефектів високого розрешення. Раніше в [3] була запропонована реалізація методу синтезованної апертури для роботизованого ультразвукового контролю з застосуванням одноелементного перетворювача. Широке впровадження в практику ультразвукового контролю антенних решіток робить актуальною проблему адаптації підходів, розроблених в [3] для роботизованого ультразвукового контролю з антенними решітками. Це вимагає розробки нових підходів для відновлення парціальних зображень в одній вимірній позиції. При цьому розуміється, що реєстрація сигналів здійснюється в режимі подвійного сканування [4]. Зазначений режим передбачає, що зондування об'єкта контролю здійснюється поочередно кожним елементом антенної решітки, а відражені ехо-сигнали при цьому реєструються всіма елементами перетворювача. В такому випадку відновлення зображення в одній вимірній позиції здійснюється з застосуванням наступного виразу:

$$I(x, z) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K p_{n,k}(\tau_{xz}), \quad (1)$$

де: $p_{n,k}$ – ехо-сигнал, отриманий в результаті використання елементів n і m антенної решітки в якості зондуємого і приймаючого елемента;

τ_{xz} – часовий відлік в А-скані, який відповідає визначеній точці в області відновлення зображення;

N – загальна кількість елементів антенної решітки, зондуємого об'єкта контролю;

K – загальна кількість елементів антенної решітки, приймаючих відражені ехо-сигнали.

Часовий параметр τ_{xz} розраховується в відповідності до наступної формули:

$$\tau_{xz} = \frac{\sqrt{(x_{tr} - x_{s1})^2 + (z_{tr} - z_{s1})^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(x_{s1} - x)^2 + (z_{s1} - z)^2}}{c_2} + \frac{\sqrt{(x_r - x_{s2})^2 + (z_r - z_{s2})^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(x_{s2} - x)^2 + (z_{s2} - z)^2}}{c_2}, \quad (2)$$

де: x_{tr}, z_{tr} – координати зондуємого елемента антенної решітки;

x_r, z_r – координати приймаючого елемента антенної решітки;

x, z – координати пікселя області відновлення зображення, для якого ведеться розрахунок;

x_{s1}, z_{s1} – координати поверхні об'єкта контролю, відповідні точці з області відновлення зображення і положенню зондуємого елемента антенної решітки;

x_{s2}, z_{s2} – координати поверхні об'єкта контролю, відповідні точці з області відновлення зображення і положенню приймаючого елемента антенної решітки (Рисунок 1);

c_1 – швидкість продольних акустических хвиль в матеріалі акустического контакту;

c_2 – швидкість продольних акустических хвиль в об'єкті контролю.

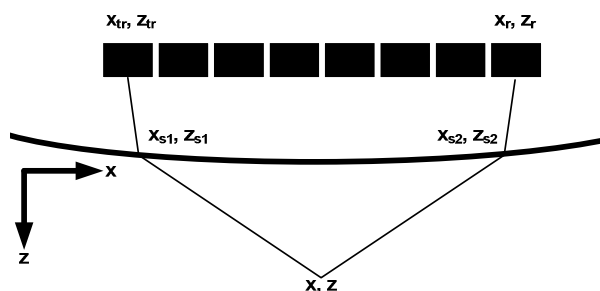


Рис. 1. Координати, необхідні для відновлення зображень дефектів

Важным вопросом восстановления изображений является определение координат x_{s1} , z_{s1} , x_{s2} , z_{s2} , для чего применяется закон Снеллиуса и принцип наименьшего времени Ферма. Впоследствии из изображений, полученных в каждой измерительной позиции, формируется полное изображение в соответствии с [3].

Проверка разработанного алгоритма осуществлялась с применением компьютерного моделирования в программном пакете CIVA UT. В рамках моделирования рассматривался стальной образец вогнутой формы. Радиус кривизны образца составлял 50 мм. Образец содержал боковые цилиндрические отверстия радиусом 1 мм. Расположение несплошностей в объекте контроля представлено на Рисунке 2а. В рамках моделирования рассматривалась антенная решетка с рабочей частотой 5 МГц, содержащая 32 элемента. В рамках моделирования предполагалось, что объект контроля располагался в воде. Сканирование объекта контроля осуществлялась с шагом 1 мм. В каждой точке траектории сканирования антенная решетка позиционировалась относительно объекта контроля таким образом, чтобы обеспечивать ввод ультразвуковых волн в объект контроля с наименьшими потерями.

Результатом моделирования являлись наборы эхо-сигналов, зарегистрированные элементами антенной решетки в режиме двойного сканирования. Данные наборы являлись входными данными для разработанного алгоритма. Результатом работы алгоритма является изображение дефектов в контролируемом образце. На рисунке 2б представлен результат, полученный в одной измерительной позиции, а на рисунке 2в представлено полное изображение, полученное путем суммирования изображений, полученных в каждой измерительной позиции.

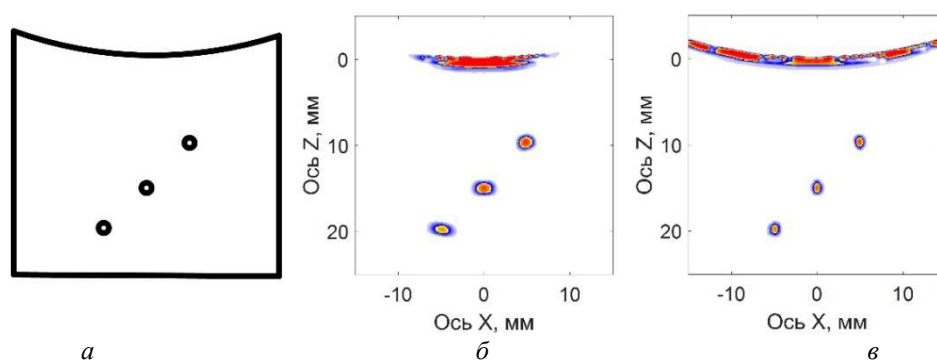


Рис. 2. Исходные данные и результаты проведенной верификации

В результате применения разработанного алгоритма цифровой когерентной обработки получены изображения дефектов высокого разрешения как в одной измерительной позиции, так и при сканировании. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного алгоритма. Следующим этапом разработок и исследований является проверка разработанного алгоритма с применением натуральных экспериментов.

Исследование выполнено за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук (проект № МК-1679.2022.4)

Список используемых источников:

1. Introducing a new method for efficient visualization of complex shape 3D ultrasonic phased-array C-scans/ C. Mineo et al// 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium, Washington, DC, USA, 2017
2. Index-based triangulation method for efficient generation of large three-dimensional ultrasonic C-scans/ C. Mineo et al// Insight – Nondestructive Testing and Condition Monitoring. – 2018. – Vol. 60. – P. 183–189.
3. The imaging algorithm for the ultrasonic evaluation of metal castings by the application of automated testing systems based on a six degree of freedom robotic manipulators/ D. Dolmatov, V. Zhvyrblya, D. Sednev, M. Kroening// Computer Methods in Materials science. – 2018. – Vol. 18. – № 2. – P. 49-57.
4. Применение ультразвуковой антенной решетки для регистрации эхосигналов методом двойного сканирования для получения изображений дефектов / Базулин Е.Г., Коколев С.А., Голубев А.С. / Дефектоскопия. – 2009. – №. 2. – С. 18-32.

СЕКЦИЯ 4

Промышленная безопасность

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО-ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.В. Носова^а, аспирант

научный руководитель: Середина В.П., профессор, д.б.н.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

634050, Томская обл., г. Томск, пр.Ленина, 36

E-mail: "nsmvsh@mail.ru

Аннотация. Установлены особенности и химизм процессов техногенного галогенеза (содержание, качественный состав, закономерности миграции и распределения легкорастворимых солей, в том числе токсичных для растений) в почвах различных зон загрязнения – эпицентр, импактная зона, граница нефтяного пятна. Выявлено, что техногенное засоление пойменных почв – конечного звена каскадно-геохимических систем, является значимым геоэкологическим фактором, способствующим образованию на нефтезагрязненных территориях новых техногенных почвенно-геохимических сукцессий – хемоземов с признаками явлений солончаковатости, не свойственных условиям гумидного климата. Предложен способ рекультивации техногенно-засоленных почв путем фитомелиоративного посева аборигенных растений-галофитов.

Ключевые слова: техногенный галогенез, галофиты, экологические свойства, ремедиация.

Abstract. The features and chemistry of the processes of technogenic halogenesis (content, qualitative composition, patterns of migration and distribution of easily soluble salts, including those toxic to plants) in the soils of various pollution zones – epicenter, impact zone, oil slick boundary are established. It has been revealed that technogenic salinization of floodplain soils – the final link of cascade-geochemical systems, is a significant geoecological factor contributing to the formation of new technogenic soil-geochemical successions in oil-polluted territories – chemozems with signs of salinity phenomena not characteristic of the conditions of a humid climate. A method of reclamation of technogenically saline soils by phytomeliorative sowing of native halophyte plants is proposed.

Keyword: technogenic halogenesis, halophytes, ecological properties, remediation.

Основной текст

Цель исследования – выявление специфики галогеохимических процессов в почвах пойменных экосистем Западной Сибири в условиях локального загрязнения нефтью и нефтепродуктами и выбор наиболее эффективного способа рекультивации засоленных почв. Поступление в почвы больших объемов минерализованных вод вызывает усиление восстановительных процессов в почвах и развитию процессов техногенной солончаковатости, не свойственных для гумидного почвообразования Западной Сибири. Уровень содержания солей и характер их радиального распределения зависят от свойств исходных почв: наличия и мощности органогенных горизонтов и гранулометрического состава, определяющих скорости миграции и интенсивность изменения вещественного состава техногенных потоков. Засоление почв вызывает деградацию и гибель растительности. В связи с тем, что «суммарный эффект» засоления обусловлен неодинаковой токсичностью для растений различных солей и ионов, то при агрономической оценке засоленных почв важнейшее значение приобретает качественный состав солей. Сумма солей в наиболее соленасыщенных горизонтах почв (0-20 см) варьирует в широких пределах (от 0,29 до 1,2 %), что обусловлено аккумуляцией солей в понижениях микрорельефа местности. После прекращения залповых выбросов поллютантов, наиболее подвижный ион Cl^- преобладает в нижних горизонтах почв эпицентра разлива и краевой зоны загрязнения, при этом общее содержание менее подвижных ионов Ca^{2+} постепенно убывает от верхних слоев почв к нижним. Такое перераспределение ионов в почвенной толще обуславливается высоким содержанием катиона Na^+ и аниона SO_4^{2-} . Поэтому засоление носит в основном сульфатный и хлоридно-сульфатный характер. Степень засоления изученных почв изменяется в диапазоне от слабой до средней. Токсичные соли представлены соединениями NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 .

Заключение

Почвы Западной Сибири имеют низкую и очень низкую способность к самоочищению от поллютантов, поэтому процессы рассоления в условиях гумидного почвообразования носят длительный характер. В пойменных почвах супераквальных ландшафтов создаются условия для аккумуляции легкорастворимых солей, а в замкнутых локальных понижениях рельефа остаточное засоление будет сохраняться продолжительное время. Опытные-промышленные испытания предложенного метода

ремедиации техногенно-засоленных почв путем фитомелиоративного посева аборигенных растений-галофитов предусматривают комплексный подход и междисциплинарное сотрудничество.

Список используемых источников:

1. Солнцева Н.П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–20.
2. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 30–39.
3. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Ковач Р.Г., Хлынина Н.И., Хлынина А.В. Углеводородное состояние аллювиальных почв на территории Истринского морфоструктурного узла (Московская область) // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1421–1434.
4. Пиковский Ю.И., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Параметры нативного углеводородного состояния почв различных биоклиматических зон // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1307–1321.
5. Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112.
6. Seredina V.P., Sadikov M.E. The soils of West Siberia middle taiga oil deposits and a predictive estimate of contamination hazard with organic pollutants // Contemporary Problems of Ecology. 2011. V.4. №5. P. 457 – 461.
7. Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Нгуен Суан Хынг^a аспирант, Нго Ву Нгуен, аспирант, Нгуен Тхэ Винь, аспирант

Научный руководитель: В.У. Мнацаканян, д.т.н., профессор

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, дом 4, стр. 1. тел (495)230-94-40

E-mail: ^anguyenxuanhung251092@gmail.com

Аннотация. рассмотрены основные причины потери работоспособности горного оборудования с учетом климатических особенностей добывающих регионов Вьетнама. Обоснована актуальность вопросов, связанных с ремонтом горных машин, необходимость разработки эффективных ресурсосберегающих технологий восстановления служебных характеристик деталей, поврежденных коррозией и износом, с использованием таких методов как газодинамическое и газотермическое напыление, способствующих в значительной степени повышению эффективности проведения работ по ремонту оборудования с минимальной техногенной нагрузкой на окружающую среду.

Ключевые слова: горная техника, износ, коррозия, восстановление, газотермическое напыление, газодинамическое напыление, защитные покрытия

Abstract. the main reasons for the loss of operability of mining equipment are considered, taking into account the climatic features of the mining regions of Vietnam. The urgency of issues related to the repair of mining machines, the need to develop effective resource-saving technologies for restoring the service characteristics of parts damaged by corrosion and wear, using methods such as gas-dynamic and gas-thermal spraying, contributing significantly to improving the efficiency of equipment repair with minimal anthropogenic load on the environment, is substantiated.

Keywords: mining equipment, wear, corrosion, restoration, gas thermal spraying, gas dynamic spraying, protective coatings

В угледобывающих регионах Социалистической Республики Вьетнам разработка месторождений осуществляется как открытым способом, так и подземным. Эффективность освоения месторождений полезных ископаемых во многом определяется техническим состоянием и уровнем надежности применяемой горной техники.

Вскрышные работы и открытая добыча твердых полезных ископаемых проводятся с помощью электрических и гидравлических экскаваторов. При разработке карьеров со слабым грунтом гидравлические экскаваторы являются более предпочтительными. От электрических экскаваторов они отличаются лучшей маневренностью ковша, меньшим весом, большей производительностью. Вместе с тем, реальные эксплуатационные характеристики и долговечность таких машин могут отличаться от проектных, по причине воздействия различных специфических факторов, обусловленных, например, климатическими особенностями региона, в котором эксплуатируется горная машина. Жаркий

и влажный воздух прибрежных районов Вьетнама ускоряет процессы коррозии и износа ответственных узлов и деталей экскаваторов. Особенно чувствительна к воздействию такого климата гидравлическая система карьерных экскаваторов, многие элементы которой относятся к разряду прецизионных. Следствием воздействия неблагоприятных внешних факторов и чрезмерного перегрева гидросистемы является ускоренный износ и коррозия сопрягаемых поверхностей деталей соединений, что оказывает существенное влияние на эффективность эксплуатации экскаваторов. К примеру, вследствие коррозии выходят из строя теплообменники, элементы шестеренных насосов, штоки гидроцилиндров и др. Коррозии также подвержены головки блоков цилиндров.

При подземной добыче угля в очистных забоях для управления кровлей используются главным образом, индивидуальные гидравлические крепи, необходимость в которых обусловлена особенностями горно-геологических условий Вьетнама. Гидростойки крепи, в первую очередь, обеспечивают безопасность ведения очистных работ, в связи с этим их техническому состоянию уделяют особое внимание как при эксплуатации, так и при выполнении ремонтных работ, в частности при восстановлении гильз и штоков силовых гидроцилиндров.

При использовании механизированных очистных комплексов, доля которых невелика, возникает необходимость ремонта приводов очистных комбайнов и конвейерного транспорта, в частности, восстановление посадочных мест под подшипники в корпусах и на валах редукторов.

Вся горная техника, эксплуатируемая во Вьетнаме, импортируется из-за рубежа, поэтому вопросы своевременного ремонта оборудования для горнодобывающей отрасли являются чрезвычайно актуальными. Значительные расходы на замену вышедших из строя элементов узлов за счет закупки запасных частей вызывает необходимость изыскания методов и разработки эффективных технологий оперативного восстановления изношенных деталей с внедрением их в систему технического обслуживания и ремонта горных машин. При этом немаловажным фактором является мобильность оборудования, применяемого для восстановления деталей, а также отсутствие вредного воздействия на окружающую среду реализуемых процессов. К примеру, предпочтительны методы, альтернативные неэкологичному гальваническому осаждению покрытий, широко применяемому при изготовлении элементов гидроцилиндров.

При выборе методов восстановления служебных характеристик изношенных деталей также важно оценить возможность улучшения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей с целью увеличения ресурса деталей при эксплуатации в тропическом климате, возможность многократного восстановления одной и той же поверхности при полной выработке защитного покрытия независимо от материала подложки.

К числу методов, удовлетворяющих выдвинутым условиям, относятся процессы газотермического и холодного газодинамического напыления порошковых материалов (ГТН и ХГН).

Газотермические методы позволяют формировать покрытия широкого спектра функционального назначения на подложках из различных материалов, являются более универсальными [1, 2]. ГТН - процесс нанесения покрытия с помощью скоростной высокотемпературной струи газа или плазмы, переносящей капли расплавленного напыляемого материала на поверхность детали - подложки. Наиболее предпочтительными для ремонта горного оборудования являются плазменный метод и высокоскоростное газопламенное напыление, благодаря высокому уровню качества формируемых покрытий [3, 4]. При этом прочность сцепления покрытий с основой при плазменном напылении варьируется в большинстве случаев в пределах 30...60 МПа, а при реализации высокоскоростного напыления может достигать 100 МПа с пористостью покрытий до 1%. Возможно получение покрытий с нанокристаллической и аморфной структурой, что существенно повышает эксплуатационные свойства поверхностных слоев.

Важным преимуществом применения высокоскоростного напыления является возможность использования его как альтернативы гальваническим методам при восстановлении штоков гидроцилиндров и других элементов гидравлических систем. При этом применение присадочных твердосплавных материалов на основе карбида вольфрама существенно увеличивает ресурс детали по сравнению с твердым хромированием [4]. Прочность сцепления покрытия и плотность высокоскоростного покрытия также превосходят значения аналогичных параметров гальванических покрытий.

Простота в обслуживании и мобильность установок для ГТН позволяет применять данные технологии непосредственно по месту эксплуатации изделий, что существенно повышает эффективность ремонта крупногабаритных деталей.

Применение в ремонтном производстве холодного газодинамического напыления позволяет решить ряд вопросов по защите оборудования от коррозии. Сущность ХГН заключается в формировании на поверхностях деталей металлических покрытий с помощью сверхзвуковых потоков частиц порошковых материалов, находящихся в твердом состоянии [5, 6]. Высокоскоростная деформация напыляемых частиц при ударе о поверхность подложки способствует образованию прочных адгезионных связей до 80 МПа. Метод ХГН и оборудование для реализации процесса – инновационный российский продукт.

В таблице приведена сравнительная характеристика параметров процессов плазменного, высокоскоростного и газодинамического напыления и материалы покрытий.

Таблица

Сравнительная характеристика основных параметров
ГТН и ХГН и показателей качества покрытий

Параметры процесса и покрытий	Метод напыления			
	Плазменное напыление	Высокоскоростное газопламенное напыление		Холодное газодинамическое напыление
		Кислородно-топливное (HVOF)	Воздушно-топливное (HVOF)	
Скорость частиц V _ч , м/с	150 – 300	400 – 900	300 – 600	500 – 700
Прочность сцепления осц., МПа	25...60	80...100	80...100	30 - 80
Пористость покрытия, %	1,0...5,0	< 1,0 %	< 1,0%	1,0... 3,0%
Напыляемые материалы покрытий	Износо- и коррозионно-стойкие покрытия: Различные сплавы, металлокерамика, оксидная и безоксидная керамика и их композиции, керамополимеры	Износостойкие покрытия: металлокерамика, оксидная и безоксидная керамика и их композиции	Коррозионно-стойкие покрытия: любые металлические (Al, Zn, Cu и их сплавы) и полимерные материалы	Коррозионно-стойкие покрытия: металлические (Al, Zn, Cu, Ni, с добавлением Al ₂ O ₃ , баббиты)

Спектр напыляемых материалов здесь ограничен порошками простых металлов и композиций на их основе с небольшим содержанием керамических компонентов, например, порошки алюминия, цинка, меди, никеля, баббита и др. с добавлением оксида алюминия. Вместе с тем метод охватывает материалы, с помощью которых осуществляют надежную защиту поверхностей деталей от коррозии как при нормальной, так и повышенной температурах, в том числе и защиту от коррозии сварных швов. Плотность формируемых покрытий до 3%. В качестве рабочего и транспортирующего газа используется сжатый воздух, что минимизирует состав оборудования, делает его мобильным и простым в применении, упрощает организацию производственного участка. Формируемые покрытия хорошо обрабатываются лезвийным инструментом.

Важным достоинством вышеуказанных методов напыления является возможность автоматизации процесса и восстановления локальных участков деталей, отсутствие термического влияния на обрабатываемую поверхность, а также экологическая безопасность.

Список используемых источников:

1. Анциферов В.Н. Газотермические покрытия. – Екатеринбург: ЦИФ «Наука», 1994, 318 с.
2. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: машиностроение, 1981.

3. Вержанский А.П., Островский М.С., Мнацаканян В.У. Современные технологии технического обслуживания и ремонта горных машин и оборудования. / Труды Межд. Науч. симпозиума «Неделя горняка-2014». Горный информационно-аналитический бюллетень Отдельный выпуск. М.: Горная книга, 2014 г. S1/ с. 422-450.
4. Балдаев Л.Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: Изд-во «КХТ», 2004. – 134 с.
5. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Фомин В. М. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. – М. Физматлит, 2010, 536 с.
6. Каширин А. И., Шкодкин А. В. Газодинамическое напыление металлических покрытий – возникновение метода и его современное состояние. – Упрочняющие технологии и покрытия. 2007, № 12(36), с. 22-33

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДНЫХ СРЕД ОТ ИОНОВ $Fe(II)$

*Журавков С.П.¹, доцент, к.х.н., Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер,
С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник В.В. Овчинников¹, студент гр. 0492,*

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения

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

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Использование мха для очистки воды от ионов железа. Исследования проводили в условиях статической сорбции.

Ключевые слова: Ионы железа, модельный раствор, очистка воды, мох, подземная вода.

Abstract. The use of moss to purify water from iron ions. The studies were carried out under conditions of static sorption.

Keyword: Iron ions, model solution, water purification, moss, underground water.

В современном обществе, одной из наиболее важных и актуальных задач, является проблема очистки воды, для дальнейшего её использования в питьевых и технологических целях [1]. Для обеспечения населения и производства чистой водой, могут применять как поверхностные, так и подземные воды [2]. Одной из серьёзных проблем, при использовании подземной воды, является содержание в ней ряда примесей, среди которых особое место занимает железо. Оно находится в подземной воде в двухвалентном состоянии, а при контакте с кислородом воздуха, начинает переходить в трёхвалентный вид, с выпадением в осадок. При использовании подземной воды, как в питьевых, так и в технологических целях, требуется удаление железа из водной среды. Если не обеспечить надёжную очистку подземной воды, то это самым негативным образом может сказаться на здоровье человека, при питьевом её использовании. А применяя не очищенную воду в технологических целях, осадки железа будут отлагаться на внутренних стенках трубопроводов и оборудования, что приведёт к их преждевременной поломке. Именно поэтому, требуется надёжно извлекать железо, при использовании подземной воды.

При обезжелезивании подземной воды, можно использовать различные методы, такие как: каталитическое окисление на загрузках, аэрация, озонирование, мембранный метод, химическое осаждение, сорбция и т.д. [3]. Среди представленных методов очистки, особый интерес представляет сорбционный способ, так как он является эффективным и доступным [4-6].

Целью данной работы является исследование образца мха таёжного СФАГНУМ, в процессе извлечения им из модельного раствора ионов $Fe(II)$. Эти эксперименты необходимы для определения возможности применения мха СФАГНУМ, в процессе обезжелезивания подземных вод.

СФАГНУМ является одним из рода мхов, который находится в переходных и верховых болотах. Верховой торф со временем получается именно из данного мха. Каждый год, этот мох нарастает в верхней части слоя, а в нижней происходит его постепенное отмирание. В структуре мха СФАГНУМ содержится фенол, обладающий антисептическими свойствами, подавляющими микроорганизмы. В процессе произрастания данного мха, происходит заболачивание лесов и водных объектов, с дальнейшим образованием на этих местах болот. Образование из этого мха торфа, происходит примерно по 1-2 мм в год. Это растение интенсивно поглощает влагу, и масса собранной воды может превышать вес самого мха в 25 раз. Так как мох обладает малой теплопроводностью, то имеет место его применение в качестве теплоизоляционного материала и в строительстве. Также

СФАГНУМ находит самое широкое использование в растениеводстве, как лекарственное сырьё в медицине и ветеринарии, в виде перевязочных материалов. Сбор мха СФАГНУМ производят в летний период и в высушенном состоянии он способен храниться длительное время.

То, что мох СФАГНУМ обладает антисептическими свойствами, является ещё одним положительным моментом при его применении в водоочистке. Это обусловлено тем, что у подавляющего числа сорбентов, в процессе водоочистки, со временем происходит биообрастание сорбционного слоя, а также стенок фильтровальных колонн. Это негативным образом сказывается как на водоочистных свойствах сорбционных материалов, так и на выделении нежелательных примесей в уже очищенную воду. Плюс к этому, возможна преждевременная поломка водоочистного оборудования.

В работе объектом исследования представлен образец мха таёжного СФАГНУМ (НВП БашИнком, Россия) - ТУ: 02.30.30.-090-20672718-2017. Перед проведением эксперимента, исследуемый образец мха сушили в шкафу, для удаления влаги. Модельный раствор содержащий ионы $Fe(II)$, готовили на дистиллированной воде, с применением железа (II) сернокислого 7-водного (ХЧ). Шло приготовление двух растворов с концентрациями ионов $Fe(II)$: Раствор 1 - 12,24 мг/дм³; Раствор 2 - 23,19 мг/дм³. Соотношение мха и раствора составляло 0,6 г на 60 см³. Процесс статической сорбции ионов $Fe(II)$ из водной среды осуществлялся при перемешивании на магнитной мешалке. Время перемешивания было: 0,5; 1; 5; 15; 30; 60 и 150 минут. После процесса сорбции, мох отделяли от сорбата фильтрованием на бумажном фильтре «синяя лента». Для анализа ионов $Fe(II)$ в водной среде использовали фотоколориметрию.

На графике (рисунок) представлены сорбционные характеристики мха СФАГНУМ, при извлечении им из модельных растворов ионов $Fe(II)$, в условиях статики, при перемешивании на магнитной мешалке (до 200-от оборотов вращения в минуту).

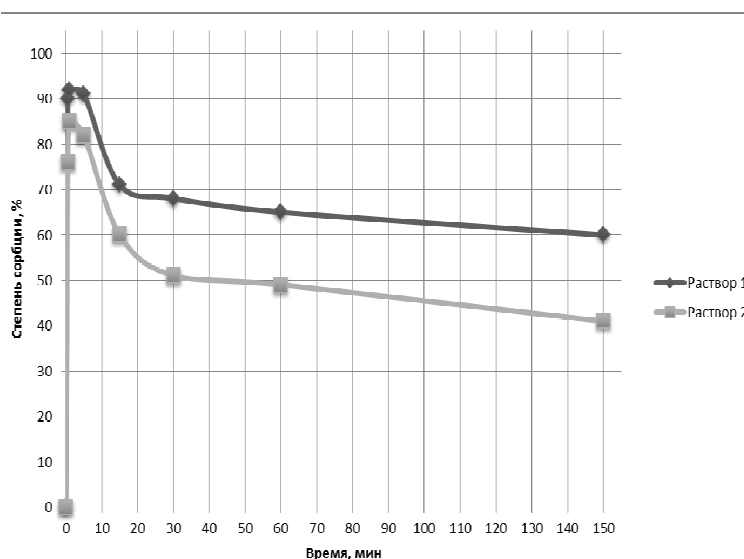


Рис. 1. Сорбционные характеристики мха СФАГНУМ

Из рисунка видно, что образцом мха СФАГНУМ, по обоим растворам происходит интенсивная сорбция ионов $Fe(II)$, уже в первую минуту процесса. На пятой минуте сорбции, наблюдается некоторое снижение поглощения ионов $Fe(II)$. По графику видно, что по обоим растворам идёт резкое снижение сорбционной активности мха на пятнадцатой минуте процесса. А начиная с тридцатой минуты, видно плавное, незначительное снижение сорбционных свойств образца мха. Это можно обосновать насыщенностью сорбента загрязняющими ионами.

Рассматривая представленный график, можно сделать следующие выводы. Образец мха СФАГНУМ обладает хорошими сорбционными свойствами при извлечении из модельного раствора ионов $Fe(II)$. Основная сорбция загрязняющих ионов происходит в первую минуту процесса по растворам с разной концентрацией. По обоим растворам видна похожая картина, при извлечении сорбентом ионов $Fe(II)$. После первой минуты процесса сорбции, наблюдается сначала сильный скачок десорбции загрязняющих ионов из мха, а затем более плавный процесс выделения ионов $Fe(II)$.

На основе приведённых, данных можно сделать вывод об эффективности образца мха СФАГНУМ, при сорбции ионов $Fe(II)$ из модельного раствора. Высокая сорбция ионов $Fe(II)$ происходит уже при малом времени контакта сорбента с загрязнённой водной средой, что является очень хорошим показателем для использования изучаемого мха СФАГНУМ в процессах практической водоочистки.

Список используемых источников:

1. Мазура И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец А.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
3. Клячков В.А., Апелцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апелцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
4. Зарубин В.В., Мартемьянов Д.В., Мартемьянова И.В., Рыков А.В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды /А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
6. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.

ПРИДАНИЕ ТКАНЕВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ

*С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер,
А.Е. Тябаев², доцент, к.г.н., В.В. Овчинников¹, студент гр. 0492*

*¹Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

*²Томский государственный педагогический университет
634041, г. Томск, пр. Комсомольский, 75*

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Придание вискозной ткани бактерицидных свойств и использование её в водоочистке.

Ключевые слова: Микробиологические загрязнения, тканевая поверхность, очистка воды, модификация, бактерицидные свойства.

Abstract. Giving viscose fabric bactericidal properties and its use in water purification.

Keyword: Microbiological contamination, fabric surface, water purification, modification, bactericidal properties.

В современной водоочистке, особое внимание уделяется очистке воды от микробиологических загрязнений [1-6]. Они могут находиться как в исходной воде, так и быть привнесены в процессе её обработки. Микробиологические загрязнения – это микроорганизмы, которые незаметны не вооружённым глазом и имеющие микроскопические размеры. К ним относятся как микрофлора, так и микрофауна: бактерии, вирусы, дрожжи, грибы, паразиты и т.д. Наличие микробиологических примесей в воде, может негативным образом сказаться на технологических свойствах оборудования, в котором она применяется. Употребление воды, содержащей различные микроорганизмы, также может пагубно сказаться на здоровье человека и вызвать отравления, кишечные инфекции и т.д. Поэтому является важной и серьёзной задачей, удаление из используемых водных сред, присутствующих в них микробиологических загрязнений. Имеются различные способы очистки воды от микробиологических примесей, такие как: мембранный метод, реагентный, ультрафиолетовая стерилизация, озонирование, сорбционно-фильтрационный метод и т.д. Одним из наиболее распространённых и повсеместно применимых методов очистки воды является сорбция [7-9]. В сорбционных колоннах, их внутренние стенки, да и сам слой загрузки подвержены биообрастанию. Поэтому важной задачей является предотвращение данных процессов. Это касается и тканевых слоёв, на которых могут располагаться сорбционные материалы.

Целью данной статьи является определение удельной поверхности и удельного объёма пор у образцов исходной и модифицированной вискозной ткани, а также определение у них наличие бактерицидных свойств.

В данной публикации, объектами для исследования выступали образцы вискозной ткани, как исходной, так и модифицированной антисептиком против вирусов и бактерий ООО «Фарма По-кров» (Владимирская область, Россия). Раствор представленного антисептика разбавляли дистиллированной водой в разных пропорциях и использовали для модификации вискозной ткани. Вискозную ткань разрезали на квадраты (10×10 мм), а затем помещали каждый такой квадрат в представленный раствор антисептика, объёмом 30 см³ и выдерживали в течение 12 часов. Затем доставали ткань из раствора антисептика и помещали в сушильный шкаф, где производилась сушка образца при 60°C, до полного удаления влаги. Приготовленный, модифицированный образец ткани готов к тестированию на наличие бактерицидных свойств.

В работе готовили разные образцы модифицированной ткани, которая отстаивалась в растворах антисептика различной концентрации (разбавлен дистиллированной водой). Исследовались следующие образцы: Исходная вискозная ткань; 1 – ткань модифицированная раствором антисептика разбавленного водой в 5 раз; 2 – ткань модифицированная раствором антисептика разбавленного водой в 4 раза; 3 – ткань модифицированная раствором антисептика разбавленного водой в 3 раза; 4 – ткань модифицированная раствором антисептика разбавленного водой в 2 раза; 5 – ткань, модифицированная представленным антисептиком.

Для фиксирования бактерицидных характеристик поверхности исследуемой ткани, применяли тест культуру кишечной палочки *Escherichia coli* ATCC 25922 (Liofilchem, Италия) на твердой питательной среде. Для этого на чашку Петри, диаметром 90 мм, с помощью шпателя наносили мясо-пептонный агар. Далее 24-часовую культуру *Escherichia coli* (кишечная палочка), с размером концентрации 3,8·10⁷ КОЕ/см³, засеивали на агар в чашке Петри. Затем, содержимое чашек на воздухе сушилось ровно 10 минут. Образцы исследуемой ткани (10×10 мм) сложили в чашки Петри и через сутки осуществляли фиксирование контактного подавления роста микроорганизмов в районе нахождения ткани и вокруг неё. Зону подавления роста микроорганизмов определяли в миллиметрах. Оценивали подавление роста бактерий визуально, отсутствием роста являлось несуществование видимых колоний в области проходящего света.

В таблице 1 содержатся данные по исследуемым образцам тканей, их удельной поверхности и удельного объёма пор.

Таблица 1

Величина удельной поверхности и удельный объём пор у исследуемых образцов тканей

Образец	Удельная поверхность, м ² /г	Удельный объём пор, см ³ /г
Вискозная ткань	6,93	0,003
№ 1	4,11	0,002
№ 2	3,75	0,002
№ 3	3,29	0,001
№ 4	2,6	0,001
№ 5	2,35	0,001

Из представленной таблицы видно, что образец исходной вискозной ткани имеет наиболее высокие значения по удельной поверхности и удельному объёму пор. При увеличении содержания бактерицидного агента на поверхности ткани, наблюдается снижение описываемых характеристик. Это можно объяснить тем, что модифицирующий агент, закрывает разветвлённую волокнистую поверхность и тем самым уменьшаются рассматриваемые значения.

В таблице 2 приведены бактерицидные свойства исследуемых тканевых материалов.

Таблица 2

Бактерицидные свойства исходной вискозной ткани и её модифицированных образцов

Образец	Зона подавления, мм.
Вискозная ткань	Сплошной рост
№ 1	Сплошной рост
№ 2	1
№ 3	1
№ 4	2
№ 5	3

Из таблицы 2 видно, что исходная вискозная ткань и образец № 1, с наименьшим содержанием модификатора, вообще не показывают бактерицидных свойств. Это говорит о том, что у образца №1 недостаточное количество активного компонента. При увеличении количества модификатора на поверхности ткани, наблюдается увеличение зоны подавления микроорганизмов вокруг исследуемого модифицированного образца.

Список используемых источников:

1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец А.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
3. Мартемьянов Д.В., Короткова Е.И., Галанов А.И. Сорбционные материалы нового поколения для очистки водных сред от микробиологических загрязнений // Вестник Карагандинского университета. - 2012. - №3 (67). С. 61-64.
4. Клячков В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
5. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1989. – С. 512.
6. Мазур И.И., Молдаванов О. И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
7. Лисецкий В.Н., Лисецкая Т.А., Репин В.Е., Пугачев В.Г. Сорбент и способ его получения // Описание изобретения к патенту. – Томск, 2004. – С. 1
8. Зарубин В.В., Мартемьянов Д. В., Мартемьянова И.В., Рыков А.В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
9. Мартемьянова И.В., Кутугин В.А., Плотников Е.В., Журавков С.П., Мартемьянов Д.В., Воронова О.А. Получение фильтровального материала для очистки воды от микробиологических загрязнений // Сборник трудов III Всероссийской конференции Экология, экономика, информатика. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – Ростов-на-дону, 2015. - С. 337-341.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

С.П.Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.А. Пьянков¹, студент гр. 0492,
Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер, С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения

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

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Изучение наноструктурного сорбента. Сорбционная очистка воды от ионов тяжёлых металлов.

Ключевые слова: Наноструктурный сорбент, ионы тяжёлых металлов, модельный раствор, очистка воды, загрязнённая вода.

Abstract. The study of a nanostructured sorbent. Sorption purification of water from heavy metal ions.

Keyword: Nanostructured sorbent, heavy metal ions, model solution, water purification, polluted water.

Одними из самых опасных химических загрязнителей находящихся в воде являются тяжёлые металлы [1-3]. Они пагубно влияют на здоровье человека, при потреблении загрязнённой воды. Также могут оказывать негативное воздействие на работу оборудования, при использовании загрязнённой воды в технологических целях. Поэтому важной задачей является очистка воды от тяжёлых металлов [4-6]. Одним из наиболее эффективных и перспективных способов извлечения ионов тяжёлых металлов из загрязнённых вод является сорбционный метод [7-9].

Целью данного исследования является изучение сорбционных свойств наноструктурного сорбента на основе вермикулитобетона [10], при извлечении из модельного раствора ионов Pb^{2+} и Cu^{2+} , в динамическом режиме.

Фільтрацыя іонаў цяжкіх металоў з мадэльнага раствора праводзілі ў дынамічных умовах, з выкарыстаннем водоочистной установки. Мадэльны раствор гатовілі на дыстыліраванай вадзе, з выкарыстаннем дзяржаўных стандартных апрацовак (ГСО) свінца і медзі (смяс). Канцэнтрацыя іонаў Pb^{2+} ў мадэльным растворе складала $0,512 \text{ мг/дм}^3$. Канцэнтрацыя іонаў Cu^{2+} ў мадэльным растворе складала $0,528 \text{ мг/дм}^3$. Вызначэнне іонаў Pb^{2+} і Cu^{2+} ў мадэльным растворе і фільтратах ажыццяўлялі з выкарыстаннем метаду інверсійнай вольтамперометрыі на прыбор-аналізатара ТА-07 (ООО «Тэхноаналіт», Расія). Размер фільтравальнага модуля складае: дыяметр – 8 мм; даўжыня – 70 мм. Маса сорбента на аснове вермікулітобетона (размер фракцыі носьбіта 1,5-2,5 мм) складае 3,6 г. Скорасць пропускання мадэльнага раствора праз фільтравальны модуль складала $243 \text{ см}^3/\text{час}$. ПДК свінца ў вадопроводнай вадзе складае $0,03 \text{ мг/дм}^3$. ПДК медзі ў вадопроводнай вадзе складае 1 мг/дм^3 .

На рысунку прадставлена схема водоочистной установки, для даследавання сорбцыйнага матэрыяла ў дынамічных умовах. Водоочистная установка складае з: 1 – ёмкасць для мадэльнага раствора; 2 – перыстальтычны насос МДП-200 Міні (ООО «Аўрора Пак Інжынірынг», Расія); 3 – фільтравальны модуль з сорбентам; 4 – прыёмная ёмкасць для фільтрата; 5, 6, 7 – злучальныя шлангі.

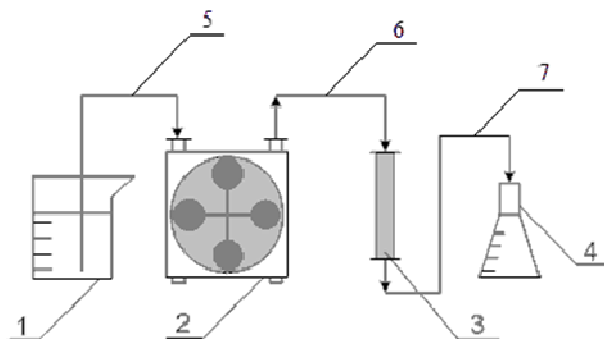


Рис. Исследование наноструктурного сорбционного материала в динамических условиях при извлечении из модельного раствора ионов тяжёлых металлов

В таблице представлены сорбционные характеристики сорбента, при извлечении им из модельного раствора ионов тяжёлых металлов.

Таблица

Динамические сорбционные исследования наноструктурного сорбента
при извлечении им из модельного раствора ионов Pb^{2+} и Cu^{2+}

Пропущенный объём раствора, дм^3	Содержание ионов Pb^{2+} в фильтрате		Содержание ионов Cu^{2+} в фильтрате	
	Концентрация, мг/дм^3	Степень очистки, %	Концентрация, мг/дм^3	Степень очистки, %
1	0,038	92,58	0,106	79,93
2	0,061	88,09	0,171	67,62
3	0,107	79,11	0,194	63,26
4	0,133	74,03	0,26	50,76
5	0,214	58,21	0,311	41,1
6	0,291	43,17	0,368	30,31
7	0,338	33,99	0,435	17,62
8	0,381	25,59	0,467	11,56
9	0,425	17	0,481	8,91
10	0,47	8,21	0,496	6,07

Как видно из таблицы, исследуемый сорбционный материал довольно хорошо очищает модельный раствор от ионов Pb^{2+} и Cu^{2+} . В процессе фильтрации наблюдается снижение сорбционной способности исследуемого материала.

Список используемых источников:

1. Крайнов С.Р., Рыженко Б. Н., Швец А.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
2. И.И., Молдаванов О. И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
3. Клячков В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод / В. А. Клячкова, И.Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
4. Баталова А.Ю., Мартемьянова И.В., Мартемьянов Д.В. Использование пирита для очистки водных сред от ионов Cr^{6+} // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции Инновационные технологии и экономика в машиностроении. – Томск, 2015. – С. 341-343.
5. Зарубин В.В., Мартемьянов Д.В., Мартемьянова И.В., Рыков А.В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
6. Мартемьянова, И.В., Баталова, А.Ю., Мартемьянов, Д.В. Природные цеолиты в очистке гальванических стоков // Сборник статей Международной научно-практической конференции Современный взгляд на будущее науки. – Уфа, 2015. – С. 16-19.
7. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.
8. Бухарева П. Б., Мартемьянов Д. В., Назаренко О. Б., Мартемьянова И. В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113-116.
9. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.
10. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Журавков С. П., Мухортов Д. Н., Хаскельберг М. Б., Юрмазова Т. А., Яворовский Н. А. Сорбент для очистки водных сред от тяжёлых металлов и способ его получения // Описание изобретения к патенту. – Томск, 2016. – С. 2.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ОБЩЕСТВЕННИКОВ

П.В. Родионов, старший преподаватель, к.пед.н.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: rodik-1972@yandex.ru*

Аннотация. В статье повествуется о необходимости создания общественных организаций в высших учебных заведениях, в основе которых лежит профессиональная подготовка студентов в сфере неформального образования. Представлен опыт работы преподавателей ЮТИ ТПУ по созданию и поддержанию в активной позиции общественной организации «Клуб добровольных пожарных, спасателей и волонтеров». Обучение студентов в рамках общественных организаций высших учебных заведений профессиональной направленности – основа неформального образования по подготовке спасателей-общественников.

Ключевые слова: неформальное образование; общественная организация; безопасность, спасатель, Клуб добровольных пожарных, спасателей и волонтеров.

Abstract. The article tells about the need to create public organizations in higher educational institutions, which are based on the professional training of students in the field of non-formal education. The experience of the teachers of YTI TPU in creating and maintaining an active position of the public organization "Club of volunteer firefighters, rescuers and volunteers" is presented. The training of students within the framework of public organizations of higher educational institutions of professional orientation is the basis of informal education for the training of rescuers–social workers.

Keyword: non-formal education; public organization; safety, lifeguard, Club of volunteer firefighters, rescuers and volunteers.

Введение

Волонтерская деятельность студентов, реализуемая параллельно с процессом профессионального образования [1], имеет высокий педагогический и воспитательный потенциал при организации подготовки спасателей-волонтеров (общественников). Важное значение волонтерской деятельности отмечено на уровне государственной молодежной политики и социальных программ, направленных на поддержку молодежных инициатив, формирование позитивного образа и статуса волонтера.

В процессе волонтерской деятельности формируется субъектная позиция и личностная субъектность учащихся, находящая свое проявление в осознанном отношении к освоению содержания профессиональных знаний, умений и навыков при выполнении мероприятий по безопасности, в участии студентов-волонтеров в профессионально ориентированных общественных мероприятиях, в формировании гражданской ответственности и ответственности за свою деятельность.

Педагогическое сопровождение волонтерской активности студентов организуется посредством элективных или факультативных курсов, раскрывающих цели, задачи и практику работы волонтеров в конкретных обстоятельствах. Во многих образовательных учреждениях созданы специализированные подразделения, ведущие подготовку студентов-волонтеров (спасателей-общественников) к участию в общественно значимых событиях в жизни страны, региона или муниципалитета.

Основная часть

Реализация образовательного потенциала волонтерства также может предусматривать создание образовательным учреждением, совместно с социальными партнерами, локальной добровольческой организации, предусматривающей профессионально-личностное развитие участников параллельно учебному процессу. В этом случае достигается совмещение целей неформальной профессиональной подготовки и социализации учащихся. Так в Юргинском технологическом институте (филиал национального исследовательского Томского политехнического университета) в течении многих лет действует добровольческая общественная организация «Клуб добровольных пожарных, спасателей и волонтеров» (далее – Клуб). Для пропаганды основных принципов волонтерства и спасательного дела и воспитательной работы среди молодежи и по согласованию с Главным Управлением МЧС России по Кемеровской области, которое выступило социальным партнером вуза, в 2012 г. путем слияния двух общественных организаций института была создана эта добровольческая общественная организация.

Организация образовательного и воспитательного процессов в рамках проведения различных мероприятий с членами Клуба основывается на следующих принципах волонтерства и спасательного дела:

- милосердия, сочувствия к пострадавшим, сопереживание к проблемам других людей;
- постоянная готовность прийти на помощь людям, оказавшимся в беде;
- взаимовыручка, умение работать в команде;
- пропаганда безопасного образа жизни в обществе;
- профилактика в области безопасности и т.п.

В добровольческой организации вуза решается основная цель – привлечение студентов для подготовки, организации и участия в различных мероприятиях в области спасательного дела, которые иницируются руководством вуза, органами управления исполнительной власти всех уровней и организациями социальных партнеров.

В представленной модели Клуба представлены и реализованы различные способы управления волонтерской организацией вуза от «тоталитарного» управления руководством института до полного самоуправления студентами-волонтерами с кураторством преподавателей в отдельных видах работ и мероприятий. Руководство Клуба состоит из выборных органов: Председателя и членов Общего собрания и Совета Клуба вуза, который планирует, организует и проводит мероприятия в течении года.

Для популяризации деятельности общественной организации вуза и привлечения новых участников волонтерского движения в Клубе созданы и постоянно актуализируются участниками ПОВО страничка на сайте института и блог в общей сети интернет. Для эффективной работы в средствах массовой информации, сайтах ЮТИ, ТПУ, в сети интернет в ПОВО имеется пресс-секретарь, который по роду своей деятельности подчиняется Председателю Совета Клуба.

Вышеперечисленные мероприятия играют большую роль в становлении будущего специалиста и выполняют дидактическую функцию пробной профессиональной деятельности. В частности, организация подготовки и участия в соревнованиях, смотрах и конкурсах по приобретаемой специ-

альности вносит неоценимый вклад в развитие практических умений и в дальнейшем – навыков будущей профессии и спасателя.

В процессе подготовительных процессов к мероприятиям волонтеры-спасатели изучают теоретические основы и приобретают практические умения и навыки по использованию в поисковых, аварийно-спасательных операциях специальных спасательных средств и оборудования. Для получения компетенций по взаимной поддержке в процессе получения профессиональных проб, состав команды на соревнования комплектуется из членов Клуба так, чтобы в их состав входили волонтеры различного статуса: опытные участники (старшие курсы) и новички (1 курс).

Также участие членов Клуба в различных соревнованиях разного уровня повышает физическую, моральную и психологическую подготовленность участников волонтерского сообщества. Приобретенные качества влияют не только на становление волонтеров, как личности и гражданина государства, но и для дальнейшего положительного результата по приобретению рабочего места в том или ином секторе рынка труда, поскольку они повышают человеческий капитал будущих работников.

Рассматриваемая добровольческая организация вуза по роду своей деятельности является – профессионально ориентированной волонтерской организацией (далее – ПОВО) и как следствие реализует следующие педагогические задачи:

- создание педагогической среды для дополнительной профессиональной подготовки, аффилированной с основной образовательной программой подготовки студентов по предметам вариативной части в процессе их участия в мероприятиях, проводимых в ПОВО вуза;
- повышение качества подготовки по специальности у студентов за счет проведения профессионально ориентированной пробной деятельности вне рамок вуза;
- создание открытой образовательной среды, обеспечивающей условия для индивидуальной и коллективной пробной деятельности;
- повышение мотивации у членов Клуба освоению будущей профессии.

При участии студентов в жизнедеятельности добровольческой организации вуза профессиональной направленности достигается позитивный эффект в области повышения мотивации к изучению дисциплин программы первоначальной подготовки спасателей.

В процессе выполнения задач при проведении профилактических мероприятий среди населения в области безопасности студенты-волонтеры Клуба участвовали в различных событиях городского и более высокого уровня.

В ходе профессиональных проб достигаются цели не только по повышению эффективности профессионального образования, но и по воспитательным аспектам и вопросам:

- выявление и развитие личностных творческих способностей;
- воспитание у студентов гражданской активности, волонтерского творчества на благо общества и государства;
- формирование коллектива (команды), активно участвующего в общественной жизни города, области;
- возможность общения со сверстниками, старшим поколением при участии в отечественных и международных мероприятиях других добровольческих организаций;
- воспитание патриотических качеств, принадлежности к сообществу своей «малой Родины», чувства долга перед «большой Родиной»;
- создание условий для привлечения студентов вуза к участию в развитии гражданского общества;
- создание социальной среды по отдалению молодежи от негативных и маргинальных субкультур [2].

Федеральный закон от 31.07.2020 № 304-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации"» вносит коррективы практически во все планирующие документы по учебно-методической деятельности в вузах по вопросам воспитания обучающихся. Организация общественных организаций по примеру представляемой модели – ПОВО может реализовать все основные положения по воспитанию молодежи в вузах, предписанных педагогам в нормативно-правовых актах в этой области.

Заключение

Профессионально ориентированная волонтерская организация, созданная учебным заведением высшего профессионального образования в сотрудничестве с различными социальными партнерами и при участии будущих работодателей выполняет воспитательную, профориентационную, пропедевтическую, компенсаторную, дополнительно-образовательную и учебно-трудовую функции, которые создают педагогические условия для параллельной социализации и профессионализации студентов-волонтеров-спасателей.

Также волонтерская организация реализует формирование студента как личности со следующими индивидуальными спасательными и волонтерскими характеристиками:

- ответственное отношение к общественно полезной деятельности;
- качественное выполнение обязанностей по роду выполняемых работ;
- бережное отношение к учебно-методическому и спасательному инструментарию;
- толерантное отношение к коллегам и к тем людям, с которыми приходится взаимодействовать в процессе проведения мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций [3].

Все вышеперечисленные качества благоприятствует процессу профессионального самоопределения личности, осознанию значимости спасателя, его места и роли в обществе.

Список используемых источников:

1. Стародубцев В. А., Родионов П. В., Волонтерские сообщества – школа профессиональных проб студентов // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 4. С. 86–92.
2. Стародубцев В.А. Родионов П. В. Волонтерские организации как среда профессиональных проб студентов вузов // Педагогическое образование в России. 2016. № 7. С. 212–217.
3. Вандышева Л.В. Деятельность волонтерских центров: структурно-семиотический анализ социальной рекламы // Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология. 2017. Т. 23. № 1–1. С. 43–48.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФТОРА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер,
С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник, Д.А. Пьянков¹, студент гр. 0492,

¹Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Использование минеральных пород для очистки модельного раствора от ионов фтора.

Ключевые слова: Минеральная порода, ионы фтора, модельный раствор, очистка воды, природный цеолит, диатомит, загрязнённая вода, глауконит.

Abstract. The use of mineral rocks to purification the model solution from fluorine ions.

Keyword: Mineral rock, fluorine ions, model solution, water purification, natural zeolite diatomite, polluted water, glauconite.

Самыми опасными загрязнителями, находящимися в воде, являются химические примеси [1]. Они вредны для здоровья человека, при потреблении не очищенной воды [2]. Для технологического оборудования, при потреблении воды в технических нуждах, химические примеси тоже могут нанести вред и стать причиной поломки. Среди химических загрязнителей, содержащихся в воде, следует особо выделить фтор.

Содержание фтора в питьевой воде не придаёт ей ни запаха, ни вкуса и определить его наличие можно только аналитическими методами. ПДК фтора в воде по требованиям РФ и ВОЗ одинаков и составляет 1,5 мг/дм³. Фтор содержится в зубных и костных тканях, помогая их укреплению. В небольших количествах, фтор необходим для жизнедеятельности организма человека, так как он препятствует вымыванию из зубной эмали минеральных солей, что замедляет процессы заболевания кариесом. Также данный элемент способствует усвоению организмом железа, что необходимо для жизнедеятельности человека. Кроме того, фтор помогает выводить радионуклиды из живых тканей человека. Если в организме присутствует недостаток фтора, то это пагубно сказывается на состоянии ногтей, кожи и волос. В силу сказанного становится, очевидно, что в нужных количествах фтор необходим человеку.

Превышение содержания фтора в воде делает её опасной для питьевого потребления. Высокие концентрации данного элемента в воде, при её периодическом потреблении, могут вызвать у человека такие заболевания как флюороз и миастения. Одним из последствий, при принятии воды, загрязнённой фтором, является истощение организма, что отразится на его состоянии (вялость, слабость). Сильное негативное воздействие фтор оказывает на такие органы, как щитовидная железа и печень.

В силу вышеперечисленных причин, является необходимой задача, по очистке воды от содержащегося в ней фтора. Имеются различные методы способные извлекать фтор из водных сред, такие как: мембранный способ, ионный обмен, сорбция и т.д. [3]. Одним из наиболее перспективных методов, по очистке воды от химических примесей, в том числе и фтора, является использование сорбентов [4-10].

Целью этого исследования является изучение минеральных образцов цеолита Шивиртуйского месторождения (Забайкальский край, Россия), глауконита Лопатинского месторождения (Московская область, Россия) и диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область, Россия), при извлечении ими из воды ионов фтора.

Природный цеолит представляет собой пористый минерал, который обладает рядом свойств, таких как: каталитические, ионообменные, теплоизолирующие, сорбционные и пуццолановые.

Глауконит является минералом, относящегося к группе гидрослюд, в виде водного алюмосиликата железа, оксида калия и кремнезёма. Представлен в природе, в виде небольших, зелёного цвета зёрен. Как правило, у глауконита отсутствуют крупные самостоятельные скопления. Присутствует в глинах, известняках, песках и т.д.

Диатомитом является осадочная горная порода, в виде сцементированных, или рыхлых кремнистых отложений. Цвет диатомита находится в диапазоне от желтоватого оттенка до серого и белого. Более чем на половину, минеральная порода состоит из панцирей диатомей, как морского, так и пресноводного вида. Диатомит имеет высокую пористость, малый объёмный вес и значительные адсорбционные свойства.

Эксперименты по извлечению ионов фтора из водных сред проводились в статических условиях, с использованием магнитной мешалки. Гранулометрический состав исследуемых минеральных образцов брался менее 0,1 мм. Для этого гранулы минералов измельчались в агатовой ступке, с дальнейшим просеиванием через сито с размером ячеек 0,1 мм. Модельный раствор, содержащий ионы фтора, готовился на дистиллированной воде, с применением фторида натрия. Время эксперимента: 1; 5; 15; 30; 60 минут. После сорбционных экспериментов (перемешивания), фильтраты отделяли от сорбентов центрифугированием на электрической центрифуге. Концентрация ионов фтора в модельном растворе составляла 5,16 мг/дм³. Определение ионов фтора в модельном растворе и фильтра-тах производились на приборе рН-метр-иономер «Эксперт-001».

На рисунке представлены сорбционные характеристики исследуемых минеральных пород (цеолит Шивиртуйского месторождения, глауконит Лопатинского месторождения и диатомит Инзенского месторождения), при извлечении ими из модельного раствора ионов фтора.

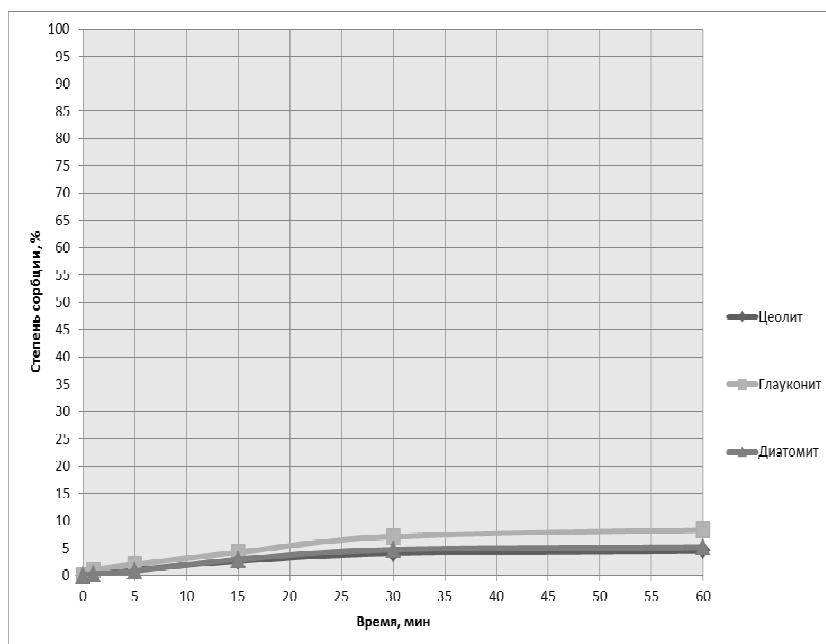


Рис. Сорбционная очистка воды от ионов фтора

Как видно из графика, все представленные образцы минеральных пород, обладают очень низкими сорбционными свойствами, при извлечении ионов фтора из модельного раствора. Немного лучше остальных показал себя образец глауконита. Самые низкие сорбционные свойства оказались у природного цеолита.

Список используемых источников:

1. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швеиц А. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
2. И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
3. Клячков В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод / В. А. Клячкова, И. Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
4. Мартемьянова, И. В., Мосолков, А. Ю., Плотников, Е. В., Воронова, О. А., Журавков, С. П., Мартемьянов, Д. В., Короткова, Е. И. Исследование свойств наноструктурного адсорбента // Мир науки. – 2015. – Выпуск 2. – С. 1-10.
5. Зарубин В. В., Мартемьянов Д. В., Мартемьянова И. В., Рыков А. В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
6. Мартемьянов, Д. В., Галанов, А. И., Юрмазова, Т. А., Короткова, Е. И., Плотников, Е. В. Сорбция ионов As^{3+} , As^{5+} из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Том 57. Вып. 11. – С. 30-33.
7. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды /А. Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
8. Мартемьянова, И. В., Баталова, А. Ю., Мартемьянов, Д. В. Природные цеолиты в очистке гальванических стоков // Сборник статей Международной научно-практической конференции Современный взгляд на будущее науки. – Уфа, 2015. – С. 16-19.
9. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.
10. Мартемьянов, Д. В., Мухортов, Д. Н., Сапрыкин, Ф. Е. Исследование свойств сорбента глауконит гранулированный // Сборник статей Международной научно-практической конференции Инновационные процессы в научной среде. – Уфа, 2015. – С. 31-33.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ ИЗ ВОДOPPOBODHOЙ BODЫ ПРИ ПОМОЩИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер,
С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник, Д.П. Симакин¹, студент гр. 0401*

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения

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

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Изучались ионообменные смолы при очистке воды от солей жёсткости.

Ключевые слова: Соли жёсткости, ионообменные смолы, очистка воды.

Abstract. Ion-exchange resins were studied for water purification from hardness salts.

Keyword: Hardness salts, ion exchange resins, water purification.

В современном обществе, остро стоит проблема потребления недостаточно чистой воды [1]. В результате антропогенного воздействия человека на природу, на планете практически не осталось водных объектов, не требующих дополнительной очистки при их использовании [2-4]. Поэтому, актуальной является задача очистки питьевых, природных, сточных и денатурированных вод, от различных видов загрязнений [5-10].

В рамках данной работы, объектами исследования выступали ионообменные смолы, представленные на водоочистном рынке, такие как: АПТ-2, Еcomix Р и Альфасофт (Токем 153).

Ионообменные процессы проводились в статических условиях, с перемешиванием очищаемой водной среды и ионообменного материала на магнитной мешалке. Время контакта при перемешивании составляло: 0,5; 1; 5; 15; 30; 60 и 150 минут. После процесса перемешивания, ионообменную смолу отделяли от фильтрата на бумажном фильтре «синяя лента». Анализ воды на содержание в ней солей жёсткости, проводили с применением титриметрического метода. Брали две исходные пробы водопроводной воды и на них проводили исследования представленных ионообменных смол. Первая проба водопроводной воды бралась по адресу пр. Ленина 2 (Томск, Россия) – концентрация $5,167 \text{ мг} \times \text{экв.} / \text{дм}^3$, а вторая проба по адресу пр. Академический 4 (Томск, Россия) – концентрация $6,88 \text{ мг} \times \text{экв.} / \text{дм}^3$.

На рисунке 1, представлены ионообменные характеристики исследуемых смол, при извлечении из водопроводной воды солей жёсткости (концентрация солей жёсткости в воде $5,167 \text{ мг} \times \text{экв.} / \text{дм}^3$).

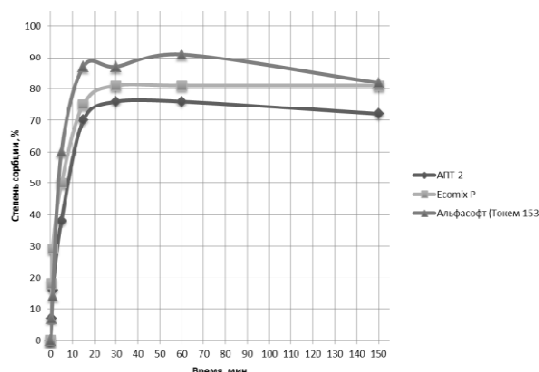


Рис. 1. Ионообменная очистка воды с малым содержанием солей жёсткости

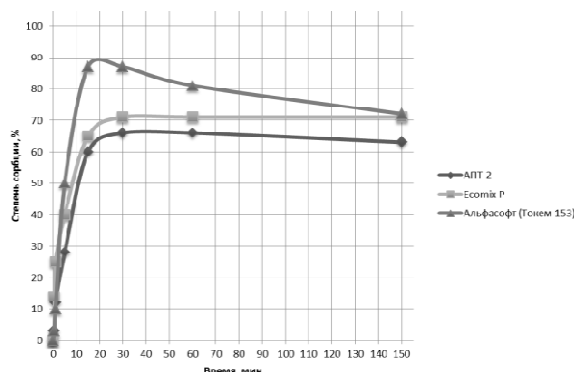


Рис. 2. Ионообменная очистка воды с большим содержанием солей жёсткости

Из графика видно, что наиболее хорошие ионообменные свойства показывает материал Альфасофт (Токем 153), а самые низкие характеристики у смолы АПТ-2. Основной процесс удаления солей жёсткости из водопроводной воды происходит в первые 15 минут ионообмена.

На рисунке 2, показаны ионообменные свойства представленных материалов, при извлечении из водопроводной воды солей жёсткости (концентрация солей жёсткости в воде $6,88 \text{ мг} \times \text{экв.} / \text{дм}^3$).

На графике видно, что, как и у рисунка 1, наиболее хорошие ионообменные характеристики показывает материал Альфасофт (Токем 153). Самые низкие свойства у смолы АПТ-2. И также основной ионообмен происходит в первые 15 минут процесса.

Список используемых источников:

1. Молдаванов О.И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
2. Клячков В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
3. Фрог Б.Н., Левченко, А. П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
4. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1989. – С. 512.
5. Мартемьянов, Д.В., Галанов, А.И., Юрмазова, Т.А., Короткова, Е.И., Плотников, Е.В. Сорбция ионов As^{3+} , As^{5+} из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Том 57. Вып. 11. – С. 30-33.
6. Зарубин В.В., Мартемьянов Д.В., Мартемьянова И.В., Рыков А.В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.

7. Баталова А.Ю., Мартемьянова И. В., Мартемьянов Д. В. Использование пирита для очистки водных сред от ионов Cr^{6+} // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции Инновационные технологии и экономика в машиностроении. – Томск, 2015. – С. 341-343.
8. Бухарева П.Б., Мартемьянов Д.В., Назаренко О.Б., Мартемьянова И.В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113-116.
9. Мартемьянова, И.В., Баталова, А.Ю., Мартемьянов, Д.В. Природные цеолиты в очистке гальванических стоков // Сборник статей Международной научно-практической конференции Современный взгляд на будущее науки. – Уфа, 2015. – С. 16-19.
10. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ В ВОДЕ РЕКИ ПОРОС ТОМСКОГО РАЙОНА

С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.П. Симакин¹, студент гр. 0401,
Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер, С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения

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

E-mail: ^аmartemdv@yandex.ru

Аннотация. Изучалась вода реки Порос Томского района на содержание в ней солей жёсткости.

Ключевые слова: Соли жёсткости, очистка воды, река Порос, Томский район, отбор пробы.

Abstract. The water of the Poros river of the Tomsk region was studied for the content of hardness salts in it.

Keyword: Hardness salts, water purification, Poros river, Tomsk region, sampling.

Все государства на планете, следят за тем, чтобы поверхностные водные объекты (реки, озёра), соответствовали нормам чистоты и использовались рационально [1]. Только 3 процента всей воды на Земле, является пресной, остальное количество в солёном виде [2]. На нашей планете, расходование водных ресурсов происходит в следующих пропорциях: питьевые, коммунальные и бытовые нужды – 21 %; промышленные нужды – 59 %; сельское хозяйство – 13 %; стратегический запас – 7 % [3]. Наша страна является одной из наиболее богатых водными ресурсами держав и в том числе пресными водами. У нас имеется самое большое пресное озеро в Море Байкал (содержит 20 % мировых запасов пресной воды), а прибрежная полоса омывается 13 морями. В России, 12,4 % территории поверхности занимают водные объекты: болота, озёра, реки и т.д. [4]. Только 1 % поверхностных пресных вод соответствует нормативам, не требующим дополнительной их очистки. Поэтому при использовании большей части поверхностной воды, требуется её предварительная очистка от различных видов загрязнителей [5-10].

Самыми серьёзными загрязнителями, находящимися в поверхностной воде, являются химические примеси. Химические загрязнения могут самым отрицательным образом сказаться на жизни и здоровье человека, при питьевом потреблении такой воды. А в промышленном производстве, грязная водная среда негативно влияет на работу и продолжительность использования технологического оборудования. Среди химических примесей в воде, встречаются такие как: нефтепродукты, тяжёлые металлы, радионуклиды, пестициды, соли жёсткости и т.д.

Одними из наиболее распространённых видов химических примесей, находящихся в воде, являются соли жёсткости. Они не являются самыми опасными загрязнителями, но имеют свои негативные особенности. У такой воды ухудшаются органолептические свойства, и чувствуется горьковатый привкус. При питьевом потреблении воды содержащей соли жёсткости, они накапливаются в живых тканях, на поверхности стенок пищевода, что ведёт к нарушению перистальтики, вызывает дисбактериоз, ухудшают действие ферментов, что, в конечном счёте, вызывает отравление организма. Со временем, может произойти накопление солей в организме человека и привести к понижению моторики желудка. Соли кальция и магния, в потребляемой воде, негативным образом влияют на сердце, со временем могут образовывать камни в почках и провоцировать болезни суставов (артрит).

В бытовых условиях, жёсткая вода тоже имеет ряд существенных недостатков. Её не рекомендуется использовать для стирки белья и мойки посуды. Бельё будет преждевременно изнашиваться, а посуда тускнеть. Вода, содержащая соли жёсткости, приводит к преждевременным поломкам такой домашней техники как, электрочайники, бойлеры, посудомоечные и стиральные машины, кофеварки. Также жёсткая вода пагубно влияет на сантехническое оборудование, используемое в быту.

На производстве, вода, содержащая соли жёсткости, тоже может привести к самым серьёзным последствиям. При использовании загрязнённой, или недостаточно очищенной воды, кальций и магний могут образовывать отложения, на нагревательных элементах, а также внутренних стенках трубопроводов и оборудования, что приведёт к преждевременной их поломке. Также эти загрязнители провоцируют выход из строя запорной арматуры. Кальциевые и магниевые отложения на внутренних стенках трубопроводов, могут существенным образом снизить их пропускную способность.

В силу сказанного выше, становится, очевидно, что необходим мониторинг водных сред на содержание в них солей жёсткости. А используемую воду необходимо надёжно очищать от них до пределов ПДК.

Объектами исследования являются пробы воды из реки Порос (Томский район), где место отбора находилось в деревне Зоркальцево (20 километров южнее города Томска). Пробы речной воды отбирали каждую неделю с декабря 2021 года по апрель 2022 года. Анализировали речную воду на содержание в ней солей жёсткости, при использовании титриметрического метода.

В таблице представлены данные, по содержанию солей жёсткости в пробах воды реки Порос.

Таблица

Содержание солей жёсткости в пробах воды из реки Порос

№	Дата отбора	pH	Содержание солей жёсткости в воде, мг×экв/дм ³	ПДК в питьевой воде, мг×экв/дм ³
1	14.12.21.	7,62	5,792	7
2	21.12.21.	7,67	5,583	
3	28.12.21.	7,73	5,792	
4	4.01.22	7,75	5,792	
5	11.01.22	7,63	5,583	
6	18.01.22	7,68	5,583	
7	25.01.22	7,72	5,583	
8	2.02.22	7,61	5,583	
9	11.02.22	7,59	5,583	
10	17.02.22	7,66	5,583	
11	25.02.22	7,79	5,375	
12	5.03.22	7,61	4,958	
13	12.03.22	7,85	5,167	
14	19.03.22	7,88	4,958	
15	27.03.22	7,92	4,958	
16	3.04.22.	8,1	4,75	

В таблице представлены данные по содержанию солей жёсткости в речной воде. Из приведённой информации видно, что в зимний период, содержание солей жёсткости в воде реки Порос несколько выше, чем весной, когда происходит таяние снега.

Список используемых источников:

1. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1989. – С. 512.
2. И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
3. Клячков В.А., Апелцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апелцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
4. Фрог Б.Н., Левченко, А.П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
5. Зарубин В. В., Мартеньянов Д. В., Мартеньянова И. В., Рыков А. В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской

- научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
6. Мартемьянов, Д.В., Галанов, А.И., Юрмазова, Т.А., Короткова, Е.И., Плотников, Е.В. Сорбция ионов As^{3+} , As^{5+} из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Том 57. Вып. 11. – С. 30-33.
 7. Баталова А.Ю., Мартемьянова И.В., Мартемьянов Д.В. Использование пирита для очистки водных сред от ионов Cr^{6+} // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции Инновационные технологии и экономика в машиностроении. – Томск, 2015. – С. 341-343.
 8. Мартемьянова, И. В., Баталова, А. Ю., Мартемьянов, Д. В. Природные цеолиты в очистке гальванических стоков // Сборник статей Международной научно-практической конференции Современный взгляд на будущее науки. – Уфа, 2015. – С. 16-19.
 9. Бухарева П.Б., Мартемьянов Д.В., Назаренко О.Б., Мартемьянова И.В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113-116.
 10. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО СОРБЕНТА ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИМ ИЗ ВОДЫ ИОНОВ $As(III)$ И $As(V)$

С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Д.П. Симакин¹, студент гр. 0401,
Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер, А.Е. Тябаев², доцент, к.г.н.

¹Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Томский государственный педагогический университет
634041, г. Томск, пр. Комсомольский, 75

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Загрязнение воды ионами мышьяка является серьезной проблемой. В статье проводится исследование наноструктурного сорбционного материала на основе вспученного перлита модифицированного оксигидроксидом железа.

Ключевые слова: Мышьяк, очистка воды, сорбент, оксигидроксид железа, перлит.

Abstract. Water contamination by arsenic ions is a serious problem. This article deals with the investigation of nanostructured sorption material based on swollen perlite modified by iron oxyhydroxide.

Keyword: Arsenic, water purification, sorbent, iron hydroxide, perlite.

Одной из серьезных экологических проблем на планете, является содержание мышьяка в поверхностных и подземных водах [1]. Эта проблема характерна для многих регионов Земли, таких как: Юго-Восточная Азия, Южная Америка, США, центральная Африка и т.д. В водной среде, растворенный мышьяк может быть трехвалентным $As(III)$, или пятивалентным $As(V)$. Известно, что мышьяк негативным образом сказывается на жизни и здоровье человека. А попадает в организм человека, он по большей части с потребляемой водой. Поэтому очень важной задачей является надежное извлечение мышьяка из используемой воды [2]. Наиболее эффективным, и применимым в различных условиях способом очистки водных сред от мышьяка, является сорбционный метод [3]. Ранее проводилась работа, по созданию нового сорбента, посредством модификации вспученного перлита оксигидроксидом железа. В рамках данного исследования, продолжается работа в этом направлении, так как создание новых видов сорбционными материалов по очистке воды от мышьяка, является актуальной задачей, требующей решения.

Целью представленной работы является определение величины удельной поверхности и удельного объема пор у сорбента на основе вспученного перлита, а также изучение его сорбционных характеристик, при извлечении из модельных растворов ионов $As(III)$ и $As(V)$.

В работе, объектами для исследования выступали образцы вспученного перлита, модифицированные оксигидроксидом железа (различное содержание). Сорбционные исследования осуществляли в статических условиях, при перемешивании на магнитной мешалке. Соотношения сорбент-раствор был

0,2 г/20 см³. Время перемешивания: 1; 5; 15; 30; 60 и 150 минут. Приготовление модельных растворов осуществлялось на дистиллированной воде, с использованием государственного стандартного образца (AsO_3^{3-}) и соли мышьяка (NaH_2AsO_4). Концентрация ионов As(III) в растворе составляла 5,04 мг/дм³, при pH водной среды равной 3,2 (ПДК = 0,05 мг/дм³). Концентрация ионов As(V) в растворе составляла 5,21 мг/дм³, при pH водной среды равной 7,1. Определение содержания ионов As(III) осуществляли методом инверсионной вольтамперометрии, а при анализе As(V) , использовали фотоколориметрию.

В таблице содержатся данные по представленным образцам сорбентов (а также их носителю в виде вспученного перлита), содержанию в них активного компонента, их удельной поверхности и удельного объёма пор.

Таблица

Содержание активного компонента, величина удельной поверхности и удельный объём пор у исследуемых образцов материалов

Образец	Содержание FeO(OH) , масс. %	Удельная поверхность, м ² /г	Удельный объём пор, см ³ /г
Вспученный перлит	0	0,483	0
№ 1	20	40,291	0,176
№ 2	30	56,23	0,2319
№ 3	40	72,628	29,81

Из приведённой таблицы видно, что самые высокие значения по удельной поверхности и удельному объёму пор наблюдаются у образца № 3, с самым большим содержанием FeO(OH) . При уменьшении количества активного компонента в образце, идёт снижение этих показателей. Самые малые показатели у носителя, в виде вспученного перлита.

Сорбционные свойства образцов исследуемых материалов при извлечении ими из модельных растворов ионов As(III) представлены на рисунке 1.

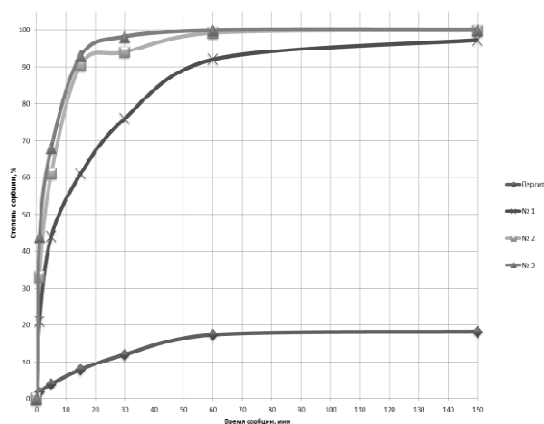


Рис. 1. Извлечение ионов As(III) из модельного раствора

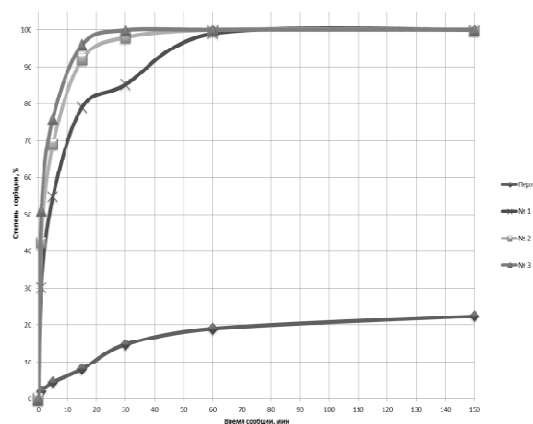


Рис. 2. Извлечение ионов As(V) из модельного раствора

На рисунке 1 наблюдается, что самые лучшие сорбционные свойства видны у образца № 3, с большим содержанием активного компонента. С уменьшением в образце модификатора, степень очистки падает. Исходный модификатор, в виде пористого перлита, не показывает значительных сорбционных свойств.

Сорбционные свойства образцов исследуемых материалов при извлечении ими из модельных растворов ионов As(V) представлены на рисунке 2.

Наибольшие свойства при извлечении из водной среды ионов As(V) показаны образцом № 3, с большим содержанием активного компонента. Образцы с меньшим содержанием модифицирующего агента показывают меньшие сорбционные свойства. Исследуемые образцы сорбентов, показывают несколько лучшие сорбционные свойства, при извлечении из воды ионов As(V) , в сравнении с сорбцией ионов As(III) .

Список используемых источников:

1. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. – М.: Наука, 1993. – 208 с.
2. Мосолков А.Ю., Плотников Е.В., Мартемьянов Д.В. Использование природных минералов для очистки водных сред от As^{3+} // Труды XI Международной конференции студентов и молодых учёных Перспективы развития фундаментальных наук. – Томск, 2014. – С. 425-427.
3. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.

**СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ
ИМИ ИОНОВ ФТОРА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

*Д.В. Мартемьянов^{1,а}, инженер, С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник,
С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н., Н.И. Солярский¹, студент гр. 0401*

¹*Томский политехнический университет*

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²*Институт физики прочности и материаловедения*

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

E-mail: ^аmartemdv@yandex.ru

Аннотация. Изучены сорбционные материалы при очистке воды от ионов фтора.

Abstract. Sorption materials for water purification from fluorine ions have been studied.

Ключевые слова: Сорбент, ионы фтора, очистка воды, модельный раствор.

Keyword: Sorbent, fluorine ions, water purification, model solution.

В наши дни, одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является экологический фактор [1]. В результате антропогенного воздействия человека на природу, происходит загрязнение атмосферы планеты, почвы и гидросферы. Особый урон, от воздействия цивилизации на природу, выражается в загрязнении поверхностных водных объектов [2]. Самыми опасными видами загрязнителей, в гидросфере Земли, являются химические примеси [3-4]. Химические загрязнения в водной среде, самым негативным образом сказываются на экосистеме водных объектов и прибрежных территорий. Поэтому перед потреблением воды в питьевых, или хозяйственных целях, необходима её предварительная очистка [5]. Для очистки воды от химических загрязнителей применяют разные методы, такие как: мембранный, ионный обмен, химическая нейтрализация, сорбция, каталитическое окисление и т.д. [6]. Одним из наиболее распространённых способов очистки воды от химических примесей, является сорбционный метод [7-9].

В рамках данной публикации, проводилось исследование различных сорбционных материалов, при извлечении ими ионов фтора разных концентраций, из модельных растворов. Изучались следующие сорбенты: 1. Окись алюминия (фракция менее 0,1 мм); 2. Bayoxide E-33; 3. Сорбент на основе вермикулитобетона [10].

Эксперименты по определению сорбционных характеристик исследуемых материалов, проводили в статических условиях, с перемешиванием на магнитной мешалке. Для тестирования сорбентов, готовили два модельных раствора, с разными концентрациями фтора. Для приготовления раствора использовали фторид натрия. Модельные растворы, содержащие ионы фтора, имели следующие концентрации: Раствор 1 – 5,28 мг/дм³; Раствор 2 – 11,61 мг/дм³. Процессы сорбции проводились при разном времени контакта раствора с сорбентом: 1; 5; 15; 30 и 60 минут. После перемешивания фильтраты отделяли от сорбентов на бумажном фильтре «синяя лента» и анализировали на содержание ионов фтора на приборе рН-метр-иономер «Эксперт-001».

На рисунке 1, показан график, с сорбционными характеристиками исследуемых материалов, при извлечении ими из модельного раствора ионов фтора с малой концентрацией.

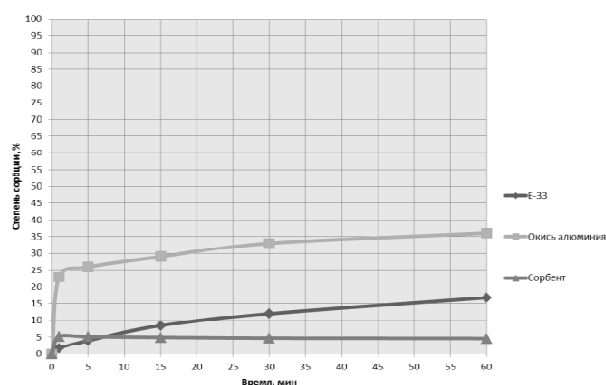


Рис 1. Сорбционные характеристики исследуемых материалов при извлечении ими ионов фтора с малой концентрацией из модельного раствора

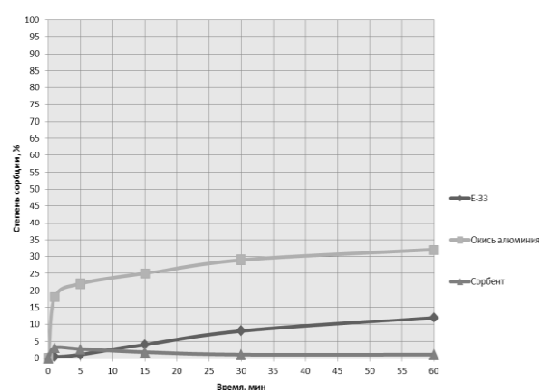


Рис 2. Сорбционные характеристики исследуемых материалов при извлечении ими ионов фтора с высокой концентрацией из модельного раствора

Из рисунка 1 видно, что наиболее хорошими свойствами, при извлечении из раствора ионов фтора, обладает окись алюминия (основная очистка происходит в первую минуту). Самые низкие свойства показал сорбент на основе вермикулитобетона. У него тоже, основной процесс очистки происходит в первую минуту, а затем идёт небольшое снижение эффективности очистки.

На рисунке 2, представлены сорбционные свойства исследуемых материалов, при извлечении ими из модельного раствора ионов фтора с высокой концентрацией.

Из информации, представленной на рисунке 2 видно, что характеристики исследуемых сорбентов такие же, как на рисунке 1. Отличие составляет только в более низкой степени извлечения ионов фтора.

Список используемых источников:

1. Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т. 2. – 638 с.
2. Телитченко М. М., Остроумов С. А. Введение в проблемы биохимической экологии: Биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. – М.: Наука, 1990. – 285 с.
3. Клячков В. А., Апелцин И. Э. Очистка природных вод / В. А. Клячкова, И. Э. Апелцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
4. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец А. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
5. Фрог Б. Н., Левченко, А. П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
6. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды /А. Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
7. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.
8. Мосолков А. Ю., Плотников Е. В., Мартемьянов Д. В. Использование природных минералов для очистки водных сред от As^{3+} // Труды XI Международной конференции студентов и молодых учёных Перспективы развития фундаментальных наук. – Томск, 2014. – С. 425-427.
9. Бухарева П. Б., Мартемьянов Д. В., Назаренко О. Б., Мартемьянова И. В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113-116.
10. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Журавков С. П., Мухортов Д. Н., Хаскельберг М. Б., Юрмазова Т. А., Яворовский Н. А. Сорбент для очистки водных сред от тяжёлых металлов и способ его получения // Описание изобретения к патенту. – Томск, 2016. – С. 2.

ИЗУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО ФИЛЬТРСОРБЕНТА И ИЗВЛЕЧЕНИЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ ИЗ ВОДЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

С.О. Казанцев², мл. науч. сотрудник, Н.И. Солярский¹, студент гр. 0401,

Д.В. Мартемьянов^{1,a}, инженер, С.П. Журавков¹, доцент, к.х.н.

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения

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

E-mail: ^amartemdv@yandex.ru

Аннотация. Исследована возможность использования микробиологического адсорбента на основе целлюлозы, модифицированной нановолокнами оксигидроксида алюминия, для извлечения культуры *Escherichia coli*.

Ключевые слова: Фильтровальный материал, целлюлоза, очистка воды, оксигидроксид алюминия, нановолокна.

Abstract. Explore the feasibility of using microbial adsorbent based on cellulose, modified nanofibers oxohydroxide aluminum, for extracting *Escherichia coli* culture.

Keyword: Filter material, cellulose, water purification, aluminum oxohydroxide, nanofibers.

В современном мире, проблема водоочистки имеет первоочередное значение [1-2]. Среди загрязняющих веществ, присутствующих в воде, особо стоит отметить микробиологические примеси, к которым относятся: бактерии, вирусы, паразиты, простейшие и т.д. [3-5]. Микробиологические загрязнители в воде, могут негативным образом влиять на самочувствие человека, при её потреблении. Поэтому является важной задачей надёжное удаление данных примесей из водных сред. Одним из наиболее эффективных и доступных способов очистки воды является сорбционный метод [6-9].

В рамках данного исследования был изучен наноструктурный фильтровальный материал, приготовленный на основе целлюлозы, с иммобилизованными на её поверхности нановолокнами оксигидроксида алюминия [10].

При исследовании морфологии поверхности модифицированного фильтровального материала применяли просвечивающую электронную микроскопию (просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100F (JEOL, Япония). Изучение величины удельной поверхности и удельного объёма пор, фильтровального материала, осуществляли с использованием метода тепловой десорбции азота (БЭТ), на анализаторе «СОРБОМЕТР М» (Россия). Осуществлялись процессы фильтрации в динамических условиях, при пропускании модельного раствора через слой исследуемого фильтровального материала, помещённого в водоочистный модуль. Размеры модуля составляли: высота – 50 мм; диаметр 23 мм. Масса фильтровального материала составляла 8,1 г. Для пропускания модельного раствора собрали водоочистную систему, состоящую из перистальтического насоса, фильтровального модуля, приёмной и раздаточной ёмкости, а также соединительных шлангов. Модельный раствор представлял собой водопроводную воду, обсеменённую культурой *Pseudomonas aeruginosa* (штамм ATCC 27853) – синегнойная палочка, с концентрацией $3 \cdot 10^7$ КОЕ/см³. Анализ на содержание микроорганизмов в воде проводили с помощью метода Коха.

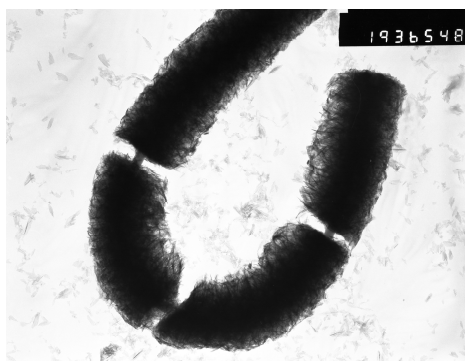


Рис. Микрофотография модифицированного фильтровального материала (увеличение в 19000 раз)

На рисунке, показан снимок исследуемого фильтровального материала на основе целлюлозы, сделанный на просвечивающем электронном микроскопе, при увеличении в 19000 раз.

Результаты электронной микроскопии показали, что образец фильтровального материала, представляет собой волокно целлюлозы, покрытое несферическими (в виде иголок) волокнами оксигидроксида алюминия. Размер нановолокон оксигидроксида алюминия составляет: диаметр – 2 нм.; длина – 150-200 нм.

Проводили исследования свойств образцов фильтровального материала. В таблице представлены некоторые физико-химические параметры исследуемого фильтровального материала: влажность, величина удельной поверхности и удельный объём пор.

Таблица 1

Характеристики по величине удельной поверхности и удельному объёму пор у фильтровального материала

Образец	Удельная поверхность, м ² /г	Удельный объём пор, см ³ /г
На целлюлозе	63,7	0,029

Как показано в таблице, у образца наноструктурного фильтровального материала имеются значительные данные по величине удельной поверхности и удельного объёма пор.

Таблица 2

Определение степени извлечения культуры *Pseudomonas aeruginosa* из модельного раствора в условиях динамики

Объём пропущенного раствора, дм ³	Содержание в фильтрате, КОЕ/см ³	Вода бассейнов	Бутилированная вода
1	0	Отсутствие в 100 см ³	Отсутствие в 1000 см ³
5	0		
10	0		
15	0		
20	7		

Из информации, представленной в таблице 2 видно, что исследуемый фильтровальный материал полностью очищает модельный раствор от культуры *Pseudomonas aeruginosa* на протяжении 15 дм³. На двадцатом дм³ фильтрата наблюдается проросок, составляющий 7 КОЕ/см³.

Список используемых источников:

1. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие/ Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
2. Фрог Б.Н., Левченко А. П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
3. Мартемьянов Д.В., Короткова Е.И., Галанов А.И. Сорбционные материалы нового поколения для очистки водных сред от микробиологических загрязнений // Вестник Карагандинского университета. 2002. № 3. – С. 61-65.
4. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии: Биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. – М.: Наука, 1990. – 285 с.
5. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец А.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
6. Зарубин В.В., Мартемьянов Д.В., Мартемьянова И.В., Рыков А.В. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187-189.
7. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666-670.
8. Мартемьянова И. В., Кутугин В. А., Плотников Е. В., Журавков С. П., Мартемьянов Д. В., Воронина О. А. Получение фильтровального материала для очистки воды от микробиологических загрязнений // Сборник трудов III Всероссийской конференции Экология, экономика, информатика. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 337-341.
9. Бухарева П.Б., Мартемьянов Д.В., Назаренко О.Б., Мартемьянова И.В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113-116.
10. Лисецкий В.Н., Лисецкая Т.А., Репин В.Е., Пугачев В.Г. Сорбент и способ его получения // Описание изобретения к патенту. – Томск, 2004. – С. 1

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА РИСКА В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Мальчик А.Г.^{1,a}, к.т.н., доцент, Тишук А.А.^{1,b}, студент гр. 17Г91

¹Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: ^aselen@tpu.ru, ^bE-mail: antishhuk09@mail.ru

Аннотация. Причинами возникновения аварий, на объектах нефтегазового комплекса, чаще всего являются ошибочные действия персонала, разгерметизация хранилища или неисправность оборудования. Приоритетное внимание предоставляется защите объектов подверженных авариям. Пожары и взрывы является неотъемлемой частью общей проблемы обеспечения пожарной и взрывобезопасности различных объектов нефтегазового комплекса. Неотъемлемой частью решения данных задач, является оценка пожароопасных и взрывоопасных производств. В статье рассмотрены особенности анализа риска, а также разработана информационная модель управления безопасностью опасных производственных объектов.

Abstract. The causes of accidents at the facilities of the oil and gas complex are most often erroneous actions of personnel, depressurization of storage or equipment malfunction. Priority attention is given to the protection of accident-prone facilities. Fires and explosions are an integral part of the general problem of ensuring fire and explosion safety of various objects of the oil and gas complex. An integral part of solving these problems is the assessment of fire and explosive industries. The article discusses the features of risk analysis, as well as an information model for managing the safety of hazardous production facilities.

Ключевые слова: авария, опасность, риск, анализ риска, техногенный риск, методы анализа риска.

Keywords: accident, danger, risk, risk analysis, technogenic risk, risk analysis methods.

Под опасностью понимают возможность отрицательного воздействия на человека, природу, и общество в целом. Новые виды, являющиеся интенсивными и мощными источниками генерации, называют техносферой. Она включает в себя окружающую среду, которая создана и облагорожена человеком для потребления и удовлетворения собственных потребностей. Из-за крупных и опасных промышленных катастроф происходит постоянное увеличение техногенных рисков. Техногенный риск представляет собой риск, который вызван негативными событиями и несущий риск для жизни человека, а также для социальных, природных и техногенных объектов [1].

Спонтанный выброс веществ или энергии в окружающую среду приводят к ее загрязнению и вызывают собой техногенные аварии. В области промышленной безопасности основную опасность несут техногенные аварии, а именно: промышленные пожары и взрывы; аварии, сопровождающиеся выбросом вредных веществ.

Ознакомимся подробнее с промышленными взрывами. Они бывают физические и химические. При потенциальной энергии сжатых газов из замкнутых объемов машин и аппаратов, в случае невозможности контролировать, вызываются физические взрывы, а химические взрывы могут вызвать твердые, газообразные, жидкие или воздушные суспензии горючих веществ в окислительной среде.

Пожары на промышленных объектах в первую очередь являются угрозой для жизни и здоровья людей. Сам пожар – это неконтролируемый процесс горения, вызванный несколькими компонентами это: кислород, горючее вещество и источник тепла с достаточной для пожара энергией, так же возможно возникновение пожара после промышленного взрыва. В основном все взрывы сопровождаются пожарами, если вовремя не были предприняты предотвращающие меры.

Все техногенные аварии несут вред человеку и окружающей среде, соответственно они представляются риском. Риск оценивают значениями от нуля до единицы. Где значение ноль означает полное отсутствие риска, если риск равен единице, то соответственно вред будет причинен [2].

Основная задача – это свести риск к минимуму.

При проведении оценки рисков, которые связаны с организацией работ на объектах нефтегазовых комплексов, рекомендуется проводить инструктаж, и оценку рисков которые направлены на безопасное производство работ.

Химические и биологические риски несут вред здоровью человека. Химические – при использовании вредных веществ, различных химических соединений, а к биологическим рискам относятся различного вида вирусы, бактерии, грибы и т. п. Факторы физических рисков – это влияние шума, влияние освещения, влияние радиации и т. п. Психологические риски возникают вследствие психологической или нервной перегрузки. Риск при исполнении работ на высоте, возникают след-

ствие плохого соблюдения техники безопасности при выполнении работ на высоте. Риск несчастного случая преследует каждого рабочего на протяжении всего рабочего дня на объектах нефтегазового комплекса. Это связано с большим разнообразием различных механизмов и техники. Поэтому техника безопасности является неотъемлемой частью работы в области промышленной безопасности. Таким образом, изучив классификацию риска по происхождению можно сделать следующие выводы:

Классификация риска по происхождению делится на три класса: первый класс – природный риск, второй класс – техногенный риск, третий класс – социальный риск.

В области промышленной безопасности проведение анализа риска делится на этапы, рассмотрим данные этапы на рисунке 1.



Рис. 1. Этапы процесса проведения анализа риска

затем определить значение фона риска и другие обоснованные показатели эксплуатации опасных объектов нефтегазового комплекса.

- В завершении первого этапа формируется рабочая группа, которая проводит анализ риска несчастных случаев, дает оценку сроков и трудозатрат на проведение работ.

Второй этап – идентификация опасностей: нужно определить источники опасности и способ реализации. Рассмотрим последовательность действий второго этапа:

1. Определить первопричины возникновения аварий, вследствие которых произошло разрушение конструкций и технических устройств на опасных объектах нефтегазового комплекса [3].
2. Разделить опасные объекты нефтегазового комплекса на составные части и определить то, что способствует возникновению аварий, затем определить возможные сценарии, с оценкой способствующие избежать, данные факторы [4].

Третий этап заключается в оценке риска аварий и разделение их на составные части, рассмотрим последовательность действий:

1. Дать оценку тяжести последствий, принесенного ущерба от возможных сценариев аварий, так же определить какие могут возникнуть опасности, инциденты и несчастные случаи. При анализе следует учесть и экспертные знания в данной области, сравнить статистику аварий в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса. Проверить все технические устройства на рабочее исправное состояние. Стоит отметить и логические графические методы (например, «Анализ деревьев событий» и «Анализ деревьев неисправности»).
2. Произвести оценку возможным авариям и причинённый ими вред или ущерб [4].
3. Оценить причиненные разрушения, оценить были ли выбросы токсичных веществ, взрывы либо пожары.
4. Провести анализ и сверку полученных результатов, убедиться, что полученные данные являются достоверными [5].
5. Полученные результаты оценки аварий делятся на две группы – это качественные результаты оценки риска и количественные результаты оценки риска.

Первый этап, заключается в планировании работы, организации работы и сборе информации, рассмотрим последовательность действий:

1. В первую очередь определяют анализируемое ОПО, дают ему общее описание.
2. Анализируем требования нормативно-правовых документов, касающихся анализа риска аварий в отношении объектов нефтегазового комплекса [3].
3. Далее если отсутствуют нормативные требования, то следует обосновать необходимость оценки риска и проведения данного анализа опасности на данном объекте.
4. Анализируем требования заинтересованных сторон, с учетом поставленных задач при анализе риска аварий на объектах нефтегазового комплекса учетом всех причин.
5. Определить методы, которые помогают в проведении анализа риска аварий на объектах нефтегазового комплекса. Так же следует определить показатели риска и степени риска,

Четвертый этап заключается в том, чтобы установить степень опасности аварий на опасных объектах нефтегазового комплекса, а так же определить самые опасные составные части опасных объектов нефтегазового комплекса, рассмотрим последовательность:

1. Сделать подробный сравнительный анализ предыдущих этапов [6].
2. Определить опасные компоненты опасных объектов нефтегазового комплекса, затем установить саму степень опасности.

Пятый этап заключается в разработке мер, способствующих снижению риска аварий, сформировать последовательность:

1. Для опасных объектов нефтегазового комплекса обосновать полученные рекомендации для снижения риска аварий.
2. Для опасных объектов нефтегазового комплекса определить способы, которые могут помочь предотвратить аварии и различные инциденты [6].

В процессе проведения анализа риска на всех этапах следует учитывать основные три приоритета.

Первый приоритет – важно принять меры, способствующие снижению тяжести риска. Данные меры так же включают себя снижение вероятности нахождения рабочих вблизи аварии, снижение вероятности распространения и увеличении очага аварии, снижение вероятности понижения уровня защиты, как аварийных систем, так и средств пассивной защиты рабочих и самих объектов, снижение вероятности неблагоприятных сценариев развития возможных аварий.

Второй приоритет – важно принять меры, способствующие снижению вероятности усиления аварии и перерастания данной аварии в несчастный случай на объектах нефтегазового комплекса.

Третий приоритет – важно принять меры, способствующие обеспечить готовность к полной локализации и в дальнейшем к ликвидации последствий аварий.

Таким образом, на объектах нефтегазового комплекса проведение анализа риска делится на этапы. Данные этапы включают в себя планирование работы, важность организации работы и сбор полной информации, проведение качественной идентификации опасностей, проведение полной оценки риска аварий и соответственно разделение на составные части, грамотное установление степени опасности и на завершающем этапе разработка мер, способствующих снижению риска аварий в области промышленной безопасности.

Рассматривая, выбор метода анализа риска на объектах нефтегазового комплекса следуют учитывать следующие показатели: данный метод должен быть подкреплён научным обоснованием и быть сопоставим с данными опасностями, так же данный метод должен иметь с воем содержании полное понимание для реализации опасности и на основании чего составить пути решения по снижению риска. В заключении данный метод должен давать способы повторения и проверки анализа риска.

При разработке методологических принципов анализа показателей и выявления рисков в области промышленной безопасности на объектах нефтегазовых комплексов следует придерживаться: Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (№116-ФЗ от 21 июля 1997 г.).

При применении анализа риска в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса, следует учесть следующие технологические процессы в области промышленной безопасности:

- при транспортировке взрывоопасных и пожароопасных материалов, а также хранении и переработки материалов следует учесть, что данные технологические процессы включают в себя прием и использование, переработка и транспортировка, утилизация опасных веществ; хранение жидких отходов в шламовых накопителях. Данные технологические процессы несут в себе ряд воздействующих опасностей: могут быть пожары или взрывы, выброс опасных и ядовитых веществ и разрушение строительных сооружений на объектах нефтегазового комплекса, так же возможны аварии в резервуарах и шламовых накопителях. Последствия, которые несут они в себе это гибель рабочих и загрязнение окружающей среды вследствие выброса опасных и ядовитых веществ в воздух, что может привести в дальнейшем к экологической катастрофе.
- при транспортировке химически опасных веществ, а также хранении и переработки данных веществ, следует учесть, что данные технологические процессы включают в себя переработку химических веществ их переработку и транспортировку, а эти вещества могут способствовать взрывам и являются легковоспламеняющимися. Данные технологические процессы несут в себе ряд воздействующих опасностей: могут быть пожары или взрывы, выброс опасных и ядовитых веществ и разрушение строительных сооружений на объектах нефтегазового комплекса. Послед-

ствия, которые несут они в себе это гибель рабочих и загрязнение окружающей среды вследствие выброса опасных и ядовитых веществ в воздух, что может нанести непоправимый ущерб.

- при транспортировке трубопровод, следует учесть, что данные технологические процессы включают в себя транспортировку и обработку трубопроводов опасными веществами, которые могут выделять ядовитые вещества в атмосферу и являться легковоспламеняющимися. Данные технологические процессы несут в себе ряд воздействующих опасностей: могут быть пожары или взрывы, выброс опасных и ядовитых веществ и разрушение строительных сооружений на объектах нефтегазового комплекса. Последствия, которые несут они в себе это несчастные случаи, приведшие к гибели рабочих и загрязнение окружающей среды вследствие выброса опасных и ядовитых веществ в воздух.

Установки товарных парков и резервуаров, это технологические процессы включают в себя хранение взрывоопасных и пожароопасных материалов и веществ. Данные технологические процессы несут в себе ряд воздействующих опасностей: могут быть пожары или взрывы, выброс опасных и ядовитых веществ и разрушение строительных сооружений на объектах нефтегазового комплекса. Последствия, которые несут они в себе массовое уничтожение рабочего персонала и массовую гибель населения в зоне поражения и соответственно вред окружающей среде способный привести к экологической катастрофе.

С целью улучшения прогнозирования анализа риска и разработки сценариев борьбы в области промышленной безопасности в случае аварийных ситуаций была разработана информационная модель управления безопасностью ОПО.

В разработанной информационной модели были учтены и включены методологии анализа системных рисков. Она была создана с целью повышения правильности и достоверности оценки опасности в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса, так же данный информационный модуль позволяет разработать последовательность мер для минимизации риска и помогает определить этапы чрезвычайных ситуаций. Важное условие заключается в поддержании обратной связи с объектом нефтегазового комплекса находящимся под контролем [6].

Рассмотрим информационную модель управления безопасностью ОПО с использованием методологии анализа системных рисков на таблице 1.

Таблица 1

Информационная модель управления безопасностью ОПО

Этапы	Наименование	Описание
1	Сбор информации о безопасности ОПО	Информация об отказах, ошибках персонала и расследовании аварий
		Информация о нарушениях технологических процессов регистрируемых системой мониторинга
		Информация для построения «деревьев отказов» и «деревьев событий»
		Информация для оценки сценариев развития аварийных процессов, связанных с выбросом опасных веществ и поражающими факторами
		Надзорная информация и нормативно-правовое регулирование безопасности ОПО
2	Оценка не стационарности функционирования технологического оборудования	Образование горящего бассейна, горячей струи
		Испарение жидкости
		Образование струи или облака
		Рассеяние струи или облака
3	Оценка вероятности и развития сценариев чрезвычайных ситуаций и оценка ущерба	Взрыв паровой горючих жидкостей
		Разрушение емкости и образование осколков
		Воздействие фрагментами
		Взрыв (горение) парогазовоздушной фазы
		Тепловое воздействие
		Воздействие ударных волн
		Токсические эффекты
4	База данных	Безопасность проектирования и эксплуатации программного обеспечения, управление минимизацией рисков

Таким образом, в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса с целью улучшения прогнозирования анализа риска и разработки сценариев борьбы в области промышленной безопасности в случае аварийных ситуаций была разработана информационная модель управления безопасностью ОПО. В разработанной информационной модели были учтена и включена методология анализа системных рисков.

Заключение

На объектах нефтегазового комплекса проведение анализа риска делится на этапы. Данные этапы включают в себя планирование работы, важность организации работы и сбор полной информации, проведение качественной индикации опасностей, проведение полной оценки риска аварий и соответственно разделение на составные части, грамотное установление степени опасности и на завершающем этапе разработка мер, способствующих снижению риска аварий в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса.

Таким образом, в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса с целью улучшения прогнозирования анализа риска и разработки сценариев борьбы в области промышленной безопасности в случае аварийных ситуаций была разработана информационная модель управления безопасностью ОПО. В разработанной информационной модели были учтена и включена методология анализа системных рисков.

Список используемых источников:

1. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Техногенный риск и безопасность. Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Ун-та, 2017. – с.: ил., библиогр.
2. Стариков А.В., Хлесткова У.А. Методика оценки профессионального риска в нефтегазовой отрасли как инструмент промышленной безопасности // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 9 (39).
3. Смирнова В.В. Анализ причин аварийности, мероприятий по предупреждению опасностей и ликвидации последствий аварий на объектах нефтегазодобычи и нефтепродуктопроводах // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 7.
4. Шавалеев Д.А. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6.
5. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 25.03.2017) // Гарант.ру.
6. Хазеев Л.Ф. Оценка производственных рисков на предприятии // Инновационная наука. 2017. №3.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Мальчик А.Г.^{1,а}, к.т.н., доцент, Ачелов С.С.^{1,б}, студент гр. 17Г91

¹Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: ^аselen@tpu.ru, ^бpovar984@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные нормативные документы, которые должны быть изучены и применены при подготовке, разработке и написании работы по теме локализации и ликвидации аварий на линейной части магистральных газопроводов.

Ключевые слова: авария, магистральный газопровод, чрезвычайная ситуация, план локализации и ликвидации аварий.

Abstract. This article discusses the main regulatory documents that should be studied and applied in the preparation, development and writing of work on the topic of localization and elimination of accidents on the linear part of the main gas pipelines.

Keywords: accident, main gas pipeline, emergency situation, plan for localization and liquidation of accidents.

При подготовке, разработке и написании работы по теме локализации и ликвидации аварий на линейной части магистральных газопроводов должны быть изучены и применены основные нормативные документы, устанавливающие порядок действий рабочего персонала предприятий при из-

вещении, возникновении и ликвидации возможных аварий и чрезвычайных ситуаций на опасном производственном объекте.

СТО Газпром 2-3.5-454-2010 «Правила эксплуатации магистральных газопроводов» устанавливает требования к надежному и безопасному использованию магистральных газопроводов ПАО «Газпром» [1].

Именно этот документ определяет требования к приемке в эксплуатацию объектов и сооружений, установление рабочих давлений, охранной зоны, минимальных расстояний к территориям зданий и сооружений, газопроводам и трубопроводной арматуре, организации работ по локализации и ликвидации аварий и их последствий, к контролю качества сварки, к теплоснабжению, водоснабжению и газоснабжению и др.

Отдельно рассматриваются вопросы к оформлению, эксплуатации, технического обслуживания и диагностики линейной части магистральных газопроводов, компрессорных станций, подземных хранилищ газа, газораспределительных станций, защите от коррозии, системам средств автоматизации процессов, управлению диспетчером, охране окружающей среды, охране труда, безопасности - промышленной и пожарной.

В СТО Газпром 2-3.5-454-2010 приведен состав объектов магистральных газопроводов, т.к. магистральный газопровод, компрессорная и газораспределительная станции и др. Рассмотрен порядок их эксплуатации, проверок автоматических защит, составу, содержанию типовой документации и др.

В п. 5.8 СТО Газпром 2-3.5-454-2010 устанавливаются требования для производственного персонала к координированию работ по локализации и ликвидации аварий и их последствий на объектах. Описываются обязанности и порядок действий персонала при авариях и инцидентах, руководство работами по ликвидации аварий, задачи предприятия при возникновении аварии.

ГОСТ Р 22.8.01-96 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования». Этот документ устанавливает требования к проведению ликвидации чрезвычайных ситуаций. Описывает основные этапы при их ликвидации, такие как разведка, анализ данных разведки, принятие решения на проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, непосредственное их проведение, обеспечение процесса ликвидации и жизнеобеспечения населения и сил ликвидации чрезвычайных ситуаций [2]. Классифицирует виды разведки (биологическая, инженерная, медицинская и т.д.), устанавливает общие требования по порядку их проведения, обязанности и полноту исполнения мероприятий.

п. 5.2 ГОСТ Р 22.8.01-96 классифицирует аварийно-спасательные и другие неотложные работы, устанавливает цель проведения работ, порядок их проведения, виды и полноту необходимых мероприятий.

п. 5.4 ГОСТ Р 22.8.01-96 описывает обеспечение процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций. В нем установлены виды обеспечения, такие как инженерное, медицинское, противопожарное и т.д. Устанавливаются требования к высокой готовности и надежности обеспечения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

п. 5.5 ГОСТ Р 22.8.01-96 устанавливает требования к организации и руководству в чрезвычайной ситуации. Описывает порядок привлечения аварийно-спасательных служб и аварийно-спасательных формирований к ликвидации чрезвычайных ситуаций, руководство силами и средствами.

ГОСТ Р 22.8.01-96 будет отменен с 01.06.2022 года и заменен на ГОСТ Р 22.8.01-2021 (приказ Росстандарта от 23.12.2021 N 1852-ст).

Рекомендации по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2012 г. № 781) [3].

Рекомендации предназначены для производственных объектов, где возможные аварии приводят к выбросам взрывопожароопасных и химически опасных веществ, взрывами в аппаратуре, производственных помещениях и наружных установках. При этом есть возможность разрушение зданий и сооружений, технологического оборудования, гибель или нанесение вреда персоналу, а также негативному воздействию на окружающую среду.

В нормативном документе описаны рекомендации по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах. Установлен форма, содержание, состав, процедура утверждения и пересмотра плана локализации и ликвидации аварий.

Важный документ - Р Газпром 2-2.3-1002-2015 Стандарты и рекомендации организации. Нормативные документы для проектирования, строительства и эксплуатации ПАО «Газпром». Разработка и утверждение плана локализации и ликвидации аварий на линейной части магистральных газо-

проводов. Но, к сожалению, срок действия данного документа истек в сентябре 2020 года. Он был разработан для подготовки плана локализации и ликвидации аварий с учетом требований федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [4].

Рекомендации распространялись на опасные производственные объекты линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром» и применялись его структурными подразделениями и дочерними обществами, а также сторонними подрядными организациями.

Р Газпром 2-2.3-1002-2015 содержали требования к назначению и задачам, организации разработки, пересмотра, согласования и утверждения плана локализации и ликвидации аварий. Раскрывали структуру плана локализации и ликвидации аварий и его оформление. Предъявляли требования к разработке и оформлению расчетно-пояснительной записки, в которой отражаются характеристики несчастных случаев и травм, выявление опасностей, причин несчастных случаев, сценариев происшествий и т.п., локализация и устранение возможных несчастных случаев.

Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1437 "Об утверждении Положения о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах" устанавливает порядок разработки планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на таких производственных объектах и требования к содержанию таких планов [5].

Планы мероприятий разрабатываются в целях обеспечения готовности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на таких объектах.

Сроки действия планов мероприятий составляют:

- а. для шахт угольных и объектов, на которых ведутся горные работы в подземных условиях, - 6 месяцев;
- б. для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, - 1 год;
- в. для объектов I, II и III классов опасности (за исключением объектов, указанных в подпунктах "а" и "б") - 5 лет.

План мероприятий состоит из общих и специальных разделов.

Общие разделы плана мероприятий содержат сведения:

1. описание объекта, в отношении которого разрабатывается план мероприятий;
2. определение и выявление, а также описание наиболее вероятных аварий и наиболее опасных по последствиям аварий, а также источники (места) их возникновения;
3. характеристики аварийности, присущие объектам, в отношении которых разрабатывается план мероприятий, и травматизма на таких объектах;
4. количество сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на объекте (далее - силы и средства), и их соответствие задачам по локализации и ликвидации последствий аварий;
5. организация взаимодействия сил и средств;
6. состав и дислокация сил и средств;
7. порядок обеспечения постоянной готовности сил и средств к локализации и ликвидации последствий аварий на объекте с указанием организаций, которые несут ответственность за поддержание этих сил и средств в надлежащей степени готовности;
8. организация связи, оповещения и управления при авариях на объекте;
9. система взаимного обмена информацией между организациями - участниками локализации и ликвидации последствий аварий на объекте;
10. первоочередные действия при получении сигнала об авариях на объекте;
11. действия производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварий;
12. мероприятия, направленные на обеспечение безопасности населения (в случае угрозе безопасности людям при аварии на предприятии);
13. организация материально-технического, инженерного и финансового обеспечения операций по локализации и ликвидации аварий на объекте.

Специальные разделы плана мероприятий разрабатываются на основании сведений, содержащихся в общих разделах плана мероприятий, и определяют порядок действий в случае аварий на объекте в соответствии с требованиями, установленными федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности.

Указанные документы устанавливают требования необходимости разработки, утверждения, согласования и введения плана локализации и ликвидации аварий на опасных производственных

объектах в действие. Правильно разработанный план локализации и ликвидации аварий позволит предприятию обеспечить своевременную локализацию и ликвидацию аварий и чрезвычайных ситуаций, снизить неблагоприятное воздействие на окружающую среду, исключить или сократить потери производственного персонала при проведении аварийно-восстановительных работ (аварийно-спасательные и другие неотложные работы).

Изучив представленные документы, могу констатировать тот факт, что на данный момент в ПАО «Газпром» отсутствует нормативный документ, устанавливающий типовые планы локализации и ликвидации аварий, несмотря на то, что опасности идентифицированы и определена их степень риска. В каждом отдельном производственном предприятии план локализации и ликвидации аварий разрабатывается, исходя из местных условий эксплуатации. Отсутствует экспертная оценка плана локализации и ликвидации аварий. Вероятной причиной такого состояния дел может являться разнообразие технологического оборудования и его состояние, различия технологических процессов, нехватка штатных кадров и недостаток финансовых средств.

При проведении противоаварийных тренировок с производственным персоналом выявляются несоответствия и недостатки в действиях сил и средств. В связи с этим в производственных предприятиях в течение срока действия плана локализации и ликвидации аварий постоянно идет актуализация оперативного раздела его специальной части.

Список использованных источников:

1. СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов.
2. ГОСТ Р 22.8.01-96 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования. [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001528> (дата обращения: 09.02.2022).
3. Рекомендации по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах.
4. Р Газпром 2-2.3-1002-2015 Рекомендации организации. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации ОАО «Газпром». Разработка и утверждение плана локализации и ликвидации аварий на линейной части магистральных газопроводов. - Журнал регистрации стандартов и рекомендаций ПАО «Газпром» на 01.01.2021, № 1017 – 294 с.
5. Об утверждении Положения о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах: Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1437. [Электронный ресурс] / Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ – URL: <https://base.garant.ru/74647996> (дата обращения: 09.02.2022).

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Ахмедьянов И.М. 63
 Ачелов С.С. 133
 Батенков К.А. 87
 Берлова М.А. 63
 Гордынец А.С. 83
 Девойно О.Г. 6
 Долматов Д.О. 100
 Евтушенко Т.Л. 16
 Ерошенко А.Ю. 13
 Животикова О.Е. 18
 Журавков С.П. 108, 110,
 112, 117, 119, 121, 123,
 125, 127
 Захаров Л.Ю. 89
 Захаров О.В. 10
 Захарова А.А. 89
 Ибрагимов Е.А. 30, 47, 49
 Ильященко Д.П. 74
 Казанцев А.А. 57
 Казанцев С.О. 108, 112, 117,
 119, 121, 125, 127
 Кардаполова М.А. 6
 Каримов Р.Д. 63
 Касенов А.Ж. 16
 Кашин А.Д. 23
 Каюмов Д.А. 63
 Ковенский И.М. 52
 Кожевникова К.В. 60
 Крюков А.В. 76
 Кужельникова А.М. 76
 Кузнецов М.А. 72
 Курбонов А.М. 72
 Ласуков А.А. 55
 Легостаева Е.В. 13
 Лугинин Н.А. 13
 Луцко Н.И. 6
 Максатбеков Б.М. 41
 Малыш С.В. 52
 Мальчик А.Г. 129, 133
 Мартемьянов Д.В. 108, 110,
 112, 117, 119, 121,
 123, 125, 127
 Мартюшова А.А. 25
 Мнацаканян В.У. 25
 Мясников А.Ю. 40
 Нго Ву Нгзун 105
 Нгуен Суан Хынг 105
 Нгуен Тхэ Винь 105
 Непомнящий А.С. 83
 Носова М.В. 104
 Овчинников В.В. 110
 Овчинников В.В. 108
 Просолов К.А. 28
 Пьянков Д.А. 112, 117
 Разумников С.В. 97
 Родионов П.В. 114
 Русин Н.М. 33
 Сайлаухан Т.С. 72, 78
 Сапрыкин А.А. 30, 49
 Сапрыкина Н.А. 30
 Седельникова М.Б. 23
 Симакин Д.П. 119, 121, 123
 Скоренцев А.Л. 33
 Собачкин А.В. 40
 Солодский С.А. 78
 Солярский Н.И. 125
 Солярский Н.И. 127
 Сопова С.П. 41
 Сулиз К.В. 28
 Татаринцев В.А. 65
 Телипенко Е.В. 93
 Теслева Е.П. 60
 Тимофеев В.Ю. 41
 Тицук А.А. 129
 Трошин А.А. 10
 Тябаев А.Е. 110
 Тябаев А.Е. 123
 Филиппов А.В. 37, 44
 Химич М.А. 30, 47, 49
 Хорошко Е.С. 44
 Чаугарова Л.З. 52
 Чебодаева В.В. 47
 Черданцев А.О. 18
 Черданцев П.О. 18
 Чумаевский А.В. 33
 Шамарин Н.Н. 44, 37
 Шаркеев Ю.П. 28, 30
 Янюшкин А.С. 16
 Яровой С.Е. 57

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XIII Международной научно-практической конференции

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание
представленной информации ответственность несут авторы
и научные руководители**

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Э.Ф. Кусова

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ