

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Юго-Западный государственный университет
Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого
Научно-методический совет по материаловедению
и технологии конструкционных материалов
Российская академия естествознания
международная академия наук экологии безопасности
человека и природы (МАНЭБ)

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ: ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

*Сборник научных статей
Международной
научно-практической конференции
22 - 23 декабря 2016 г.*

Ответственный редактор *Романенко Д.Н.*

ТОМ 1

в 2-х томах

Курск 2016

УДК 621+658+685
ББК Ж.я431(0)
Н76 УП-01

Организационный комитет:

Председатель - Гадалов В.Н., д.т.н., проф. каф. МТиО ЮЗГУ, г. Курск;
Зам. председателя - Романенко Д.Н., к.т.н., доц. каф. МТиО ЮЗГУ, г. Курск;
Зам. председателя - Разумов М.С., к.т.н., доц. каф. МТиО ЮЗГУ, г. Курск;
Ученый секретарь - Гречухин А.Н., к.т.н., ст.преп.каф. МТиО ЮЗГУ, г. Курск.

**НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ: ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ:** сборник
научных статей материалы Международной научно-практической конфе-
ренции (22-23 декабря 2016 года)/ редкол.: Романенко Д.Н. (отв. ред.);
Юго-Зап. гос. ун-т. В 2-х томах, Том 1. Курск: ЗАО «Университетская кни-
га», 2016. 373 с.

ISBN 978-5-9909462-6-2

Содержание материалов конференции составляют научные статьи отече-
ственных и зарубежных ученых. Излагается теория, методология и практика
научных исследований в области техники, машиностроения, механики, ма-
териаловедения.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР, специалистов в
области машиностроения и материаловедения, преподавателей, студентов
и аспирантов вузов.

Материалы в сборнике публикуются в авторской редакции.

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований, Проект 16-38-10541 « мол_г ».*

ISBN 978-5-9909462-6-2

УДК 621+658+685
ББК Ж.я431(0)

© Юго-Западный государственный
университет, 2016
© ЗАО «Университетская книга», 2016
© Авторы статей, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ	10
<i>Таратанов Н.А., Кокшаров Ю.А., Юрков Г.Ю., Губин С.П.</i> МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	10
<i>Гадалов В.Н., Емельянов С.Г., Сафонов С.В., Абакумов А.В., Ковалев С.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И ПОКРЫТИЙ.....	13
<i>Логачева А.И., Логунов А.В., Разумовский И.М.</i> РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	29
<i>Ловиенко Г.Ф., Ловиенко Ф.Г.</i> ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	32
<i>Гадалов В.Н., Квашинин Б.Н., Абакумов А.В., Тураева О.А.</i> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ....	38
<i>Щерецкий А.А., Шумихин В.С., Лахненко В.Л., Беспалый А.А.</i> КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С АМОРФНОЙ МАТРИЦЕЙ: ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	43
<i>Гадалов В.Н., Емельянов С.Г., Романенко Д.Н., Розина Т.Н.</i> ИЗНОС И ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВ	46
<i>Ляхов А.В., Ляхов В.И., Новиков С.Г.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ.....	49
<i>Чигринова Н.М., Чигринов В.В.</i> КОМБИНИРОВАНИЕ МИКРОПЛАЗМОЙСКРОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОРАЗРЯДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНО-КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОБЪЕКТАХ ИЗ ВЕНТИЛЬНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ	51
<i>Коротяев Д.М., Гадалов В.Н., Скрипкина Ю.В., Розина Т.Н.</i> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ	57
<i>Гадалов В.Н., Бредихина О.А., Ковалев С.В., Тураева О.А., Абакумов А.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ДУГАМИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПП АН-170	60
<i>Гадалов В.Н., Бредихина О.А., Тураева О.А., Ковалев С.В., Шокурова Н.А.</i> ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	

НАНЕСЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ИХ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА.....	65
<i>Гадалов В.Н., Сафонов С.В., Горецкий В.В., Шестакина С.В., Абакумов А.В., Тураева О.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПИСАНИЯ АНОДНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ.....	70
<i>Гадалов В.Н., Николенко С.В., Сафонов С.В., Сальников В.Г., Климов Д.В., Горецкий В.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ПОРОШКА САМОФЛУСУЮЩЕГОСЯ СПЛАВА И РЯДА ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОДНОМ МАТЕРИАЛЕ СО-WC НА ПРОЦЕСС МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ И ЕГО СВОЙСТВА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЛЕГИРОВАНИИ СТАЛИ ХВГ	74
<i>Романенко А.Г.</i> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ОСНОВЕ БОРА	80
<i>Колесников В.И., Булгаревич С.Б., Мигаль Ю.Ф., Сычѳв А.П., Бойко М.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕГРЕГАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ И ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОСИСТЕМЫ «КОЛЕСО – РЕЛЬС – ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА»	83
<i>Обвинников Е.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНОФАЗНЫХ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ....	84
<i>Ващенко В.А., Яценко И.В., Коваленко Ю.И., Рева И.А., Бойко В.П.</i> ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОПТИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ	95
<i>Бигус Г.А., Галкин Д.И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ.....	98
<i>Гибаленко А.Н.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ УРОВНЕ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА.....	104
<i>Бондаренко М.А., Ващенко В.А., Рева И.А., Бондаренко Ю.Ю., Канашиевич Г.В., Рудь М.П., Яценко И.В.</i> МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ НЕСПЛОШНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ МЕТОДОМ АТОМНО- СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ	108

Шарифов З.З. «КОНСТРУИРОВАНИЕ» ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ	112
Новиков С.Г., Ляхов А.В., Ляхов В.И., Малыгин В.В. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПОРНОЙ ПЛАВАЮЩЕЙ ТРУБЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ПОПЛАВКАМИ	116
НАУЧНЫЕ СТАТЬИ	120
Акрамов А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ПРОТРАВОЧНОЙ МАШИНЫ С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ НОРМЫ РАСХОДА СУСПЕНЗИИ	120
Алаев А.С., Трушин Н.Н. ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	124
Александров С.Б., Василенко Ю.В. ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ВИБРОШЛИФОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА	127
Аль-Касасбех Р.Т., Стародубцева Л.В., Корневская Е.Н., Старцев Е.А. ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОЙ ЦЕННОСТИ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ПЛОХОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ	132
Амбросимов С.К., Сырских А.О. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДЕФОРМИРУЮЩЕ-РЕЖУЩЕГО ПРОТЯГИВАНИЯ	136
Арбузова А.А. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	140
Артеменко М.В., Рыбочкин А.Ф., Калугина Н.М., Писарев М.В. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТЕРАПЕВТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ	144
Астанова М.М. ПРОБЛЕМНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ	147
Ахунова Л.В., Гараева А.Ф., Хасанишин Р.Р. СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ ДРЕВЕСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ	150
Ашихмина М.В., Кислицын Е.В. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	154
Балакай В.И., Потоцкая Е.А., Балакай И.В. КОРРОЗИОННО- И ИЗНОСОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ЦИНК-БОР .	158
Балакай В.И., Потоцкая Е.А., Старунов А.В. ЗАВИСИМОСТЬ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ НИКЕЛЬ-ФТОРОПЛАСТ ОТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА	161

Балакай В.И., Целковская М.И., Балакай И.В. КОРРОЗИОННО- И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-БОР	164
Балакай В.И., Целковская М.И., Раджабов А.М. СВОЙСТВА СЕРЕБРЯНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ ТИОСУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА	167
Балакай В.И., Астахов А.С., Раджабов А.М. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТ-ОКСИД КРЕМНИЯ	171
Балакай В.И., Астахов А.С., Старунов А.В. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПАЯЕМОГО СПЛАВА НИКЕЛЬ-ОЛОВО ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ	174
Бартеньева Е.А., Шоева Т.Е., Каминский Ю.Д. МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «КИСЛЫХ» ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ	177
Барчуков Д.А., Домжделев А.М. РОЛЬ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ КАРБИДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ НАПЛАВЛЕННОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ	181
Белан Д.Ю., Дьяченко А.И., Прокопенко Н.С., Гелетюк Ю.Н., Хасеинова С.Б. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОШЛИФОВ МЕДНЫХ ПЛАСТИН КОЛЛЕКТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ.	184
Белоус Д.С., Мельников И.Н., Пичхидзе С.Я. КОМПОЗИТНАЯ БИОРАЗЛАГАЕМАЯ НАСАДКА НА РЕСПИРАТОР	188
Бердиев Б.Х. ПОГРЕШНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	191
Бишутин С.Г., Петракова Н.Ю., Коробов В.С. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ	194
Бондаренко А.И. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ	198
Бояринцева Е.С. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	203
Быков А.В., Корневская С.Н., Хрипина И.И. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИШЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	207
Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Умнов В.И., Точилкин В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ АРГОНА В УСТРОЙСТВЕ	

ЗАЩИТЫ СТРУИ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИВКЕ НА МАШИНЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК.....	210
<i>Воронин А.А., Василенко О.А., Василенко Ю.В.</i> ОБ УЛАВЛИВАЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ СОЖ ПРИ ШЛИФОВАНИИ	213
<i>Воронцов Р.С., Преликова Е.А.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТА-СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	221
<i>Ву Ван Гюи</i> НОВЫЙ МЕТОД НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДОМ В СРЕДЕ ПЛАЗМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИТОВОЙ ПАСТЫ	224
<i>Гаврилова Е.В.</i> ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СИЛУМИНОВ	232
<i>Гараева А.Ф., Галяветдинов Н.Р.</i> БИОРАЗЛАГАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	238
<i>Гараева А.Ф., Мухаметзянов Ш.Р.</i> ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И СИЛИКОНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛАСТИЧНЫХ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	243
<i>Голубчик Э.М., Тарасов П.С.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА В ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	246
<i>Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е.</i> РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРАВЛЕННОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ	254
<i>Гревинов Л.М., Куликова А.А., Оглезнева С.А.</i> ВЛИЯНИЕ ФОРМ УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ	258
<i>Григорьева Н.В., Носков А.С., Решетникова О.П., Королев А.В.</i> ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ТВЕРДОЙ ГРАФИТОВОЙ СМАЗКИ НА ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ	261
<i>Грохольский А.С.</i> ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ В ТОЧНЫЕ ФОРМЫ И ОБРАБОТКА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА МЕТАЛЛА	265
<i>Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.</i> НОВЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	268
<i>Гусев В.Г., Морозов А.В.</i> ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	271

<i>Дикевич А.В., Саплинова В.В., Корнеев А.С.</i> ПОМОЩНИКИ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	275
<i>Добровольский И.И., Щекина Е.Н.</i> БУТСТРЕП ПОДХОД МОДИФИКАЦИИ ВЫБОРКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И АССИМПТОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	279
<i>Дунаева А.А., Насад Т.Г.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	283
<i>Евсеев Е.Ю.</i> АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХРУПКОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК ОТ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ	286
<i>Епсилова И.А., Болюкова М.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДОЛОТ СЕЯЛОК	289
<i>Ермолаев Д.В.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ЭКСПЕРТНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ	293
<i>Жарковский И.А.</i> АНАЛИЗ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО УПОРНОГО СВЕРЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОЧНЫХ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ	298
<i>Журавлев А.А., Целюк Д.И.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ПРОВОДНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ	301
<i>Жураев Т.Х.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СВЯЗЕЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА	304
<i>Жураева М., Расулов М.</i> ОБЩИЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ	306
<i>Зайдес С.А., Нгуен Ван Хинь</i> ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВАЛОВ ИЗ СТАЛЕЙ СТАЛЬ 45 И СТАЛЬ 35 ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ	309
<i>Зайдес С.А., Фам Дак Фьонг</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВТУЛОК ПОСЛЕ ПОПЕРЕЧНОЙ ОБКАТКИ ПЛОСКИМИ ПЛИТАМИ	316
<i>Замилова А.Ф., Пестова Н.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ БЕРЕЗОВЫХ ФАНЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ ПОСТОЯННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ	327

Зиёдуллаева Х.М. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СБОРКЕ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ.....	331
Зубрилина Е.М. ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД С ПРИМЕНЕНИЕМ КРАУДСОРСИНГА КАК ИННОВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИН	333
Иванов Н.И., Маслов Г.С., Шумаков А.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПЕРЕНОСНОГО АППАРАТА ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ТОКОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ	338
Ильенко А.А., Тоштилаев Ш. ОЦЕНКА ШИРИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛЕЙ	346
Ионов М.К., Кузнец Е.А. ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА АРМИРОВАННОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ КАРБИДА ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИТНОЙ СМЕСИ	353
Исаев С.М., Рахимова К.К., Шовалиев Б.Х., Даминова Ю.С., Мирзаева Г.М., Садыков Ж.Д. ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ С ПОДПОЧВЕННЫМ АККУМУЛЯТОРАМ ТЕПЛА	357
Исмаилов Б.М., Умарова М.Б., Жураев В.Н. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АСФАЛЬТОБИТУМА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ФНПЗ.....	360
Исмойлов Ф.Б., Сариев Р.Б. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	365
Исмойлов Ф.Б., Исмойлов Х.Б. ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	369

ПЛЕНАРНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ

УДК 621.382

МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**Таратанов Н.А.¹, Кокшаров Ю.А.², Юрков Г.Ю.¹, Губин С.П.¹**¹*Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Москва*²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**Изучена разработка и создание металлсодержащих наноматериалов на основе наночастиц редких элементов.*

В последнее время всё большее внимание привлекает разработка и создание металлсодержащих наноматериалов на основе наночастиц редких элементов (в частности, Mo, Re). Это связано с их уникальными физическими и химическими свойствами, существенно отличающимися от свойств соответствующих компактных материалов. Применение материалов на основе наночастиц редких элементов возможно в самых разнообразных областях науки и техники. Показано, что наночастицы, включающие редкие элементы, могут быть активными катализаторами, в том числе в нанотехнологических процессах [1]. Одним из интересных методов стабилизации синтезируемых наночастиц является их внедрение в объем полимерных матриц. В свою очередь, введение наночастиц в объем полимеров позволяет изменять механические свойства последних [2]. Такие изменения в механических и термомеханических свойствах были отмечены в работах [3, 4], а изменение электрофизических характеристик – в работах [5–7].

Модификация полимеров с характерными диэлектрическими свойствами углеродными нанотрубками [8–10], металлсодержащими наполнителями [5, 11–14] приводит к созданию композитов с увеличенными значениями проводимости по сравнению с исходной полимерной матрицей. В перечисленных работах показано, что электрические свойства композитов зависят от состава, формы, размера и концентрации наполнителя.

Также существует предположение, что добавление наночастиц в полимеры и варьирование их концентрации позволят осуществлять управление электрическими свойствами созданных таким образом композиционных наноматериалов [15]. Кроме того, нанокompозиты с редкими элементами могут быть использованы в качестве одного из компонентов радиопоглощающих материалов.

В ходе наших исследований был разработан метод, позволяющий получать молибденсодержащие наночастицы, стабилизированные полимерной матрицей путём термораспада прекурсоров. Используя разработанную технологию получения композиционных наноматериалов, возможно полу-

чение наночастиц различного состава (металлы, оксиды, карбиды и т.д.), размера (от 2 до 6 нм) и с различным содержанием металлической фазы в полимере (от 1 до 20 масс.%). С использованием ряда физических методов (электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), просвечивающей микроскопии (ПЭМ), рентгенофазового анализа (РФА), метода EXAFS) установлен размер, состав и строение наночастиц, а также их взаимодействие с полимерной матрицей. Представлено, что образующиеся наночастицы являются многосоставными, т.е. наряду с металлическим ядром имеются карбидная и оксидная оболочки.

Необычные свойства наночастиц редких элементов проявляются, в частности, в спектрах ЭПР. В качестве примера на рисунке приведены спектры, записанные при комнатной температуре, наночастиц молибдена, стабилизированного полимерными матрицами (полиэтилен и тефлон).

Спектры состоят из нескольких широких линий с эффективными g-факторами от ~ 6 до ~ 2 , т.е. разбросанных в широком интервале магнитных полей. Такой вид спектра ЭПР не характерен для ионов Mo^{5+} , которые обычно дают несколько (вследствие сверхтонкого взаимодействия) линий ЭПР вблизи $g = 2$.

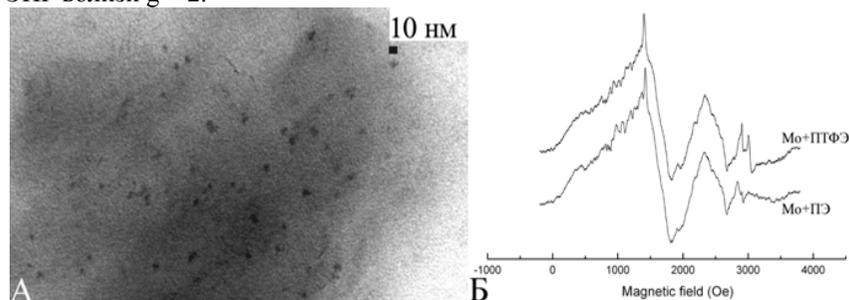


Рисунок 1 - Характерная микрофотография ПЭМ (А) для синтезированных молибденсодержащих наночастиц в полиэтиленовой матрице; спектры ЭПР (Б) наночастиц молибдена в полиэтилене (нижняя кривая) и на политетрафторэтилене (верхняя кривая). Измерения проведены на спектрометре Varian E-4 X-диапазона

Как правило, весь спектр Mo^{5+} укладывается в пределах сотни эрстед. Аналогичная ситуация наблюдается и для наночастиц рения (в металлическом состоянии). Таким образом, спектры ЭПР наночастиц редких металлов кардинально отличаются от спектров соответствующих объемных ионных (или металлических) соединений.

Существенное отклонение эффективного значения g-фактора линии ЭПР от чисто спинового значения ($g = 2.00$) обычно связывают с сильным спин-орбитальным взаимодействием. Возможно, для электронной подсистемы металлических наночастиц редких элементов реализуется именно этот случай [16]. Сильное спин-орбитальное взаимодействие может приводить

с сильной спин-решеточной релаксации и, как следствие, к сильному поглощению высокочастотного электромагнитного поля.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (гранты №05-03-32083, 06-03-72031-МНТИ, 07-03-00885), ИНТАС №05-1000008-7834, Гранта Президента РФ МК-253.2007.3, Фонда содействия отечественной науке, МНТЦ №3457 и Программ фундаментальных исследований РАН «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов» и «Создание эффективных методов химического анализа и исследования структуры веществ и материалов».

Список литературы

- Li Y., Liu J., Wang Y., Wang Z. Preparation of Monodispersed Fe-Mo Nanoparticles as the Catalyst for CVD Synthesis of Carbon Nanotubes // Chem. Mater. 2001. Vol. 13. P.1008–1014.
- Brosseau C., Quéffelec P., Talbot P. Microwave characterization of filled polymers // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89. №8. P. 4532–4540.
- Xia X., Cai S., Xie C. Preparation, structure and thermal stability of Cu/LDPE nanocomposites // Materials Chemistry and Physics. 2006. Vol. 95. P. 122–129.
- A Study of the Mechanical and Permeability Properties of Nano- and Micron- TiO2 Filled Epoxy Composites / C.B. Ng, B.J. Ash, L.S. Schadler, R.W. Siegel // Adv. Compos. Lett. 2001. Vol. 10, №3. P. 101–111.
- Chung K.T., Sabo A., Pica A.P. Electrical permittivity and conductivity of carbon black-polyvinyl chloride composites // J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53, №10. P. 6867–6879.
- Time dependence of piezoresistance for the conductor-filled polymer composites / X.W. Zhang, Y. Pan, Q. Zheng, X.S. Yi, Y. Xiao-Su // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. 2000. Vol. 38, №21. P. 2739–2749.
- Dielectric properties of zinc oxide/low density polyethylene nanocomposites / J.I. Hong, P. Winberg, L.S. Schadler, R.W. Siegel // Materials Letters. 2005. Vol. 59, №4. P. 473–476.
- Morphological and mechanical properties of carbon-nanotube-reinforced semicrystalline and amorphous polymer composites / M. Cadek, J.N. Coleman, V. Barron, K. Hedicke, W.J. Blau // Appl. Phys. Lett. 2002. Vol. 81, № 27. P. 5123–5125.
- Nanotube Networks in Polymer Nanocomposites: Rheology and Electrical Conductivity / F. Du, R.C. Scogna, W. Zhou, S. Brand, J.E. Fischer, Winey K.I. // Macromolecules. 2004. Vol. 37, № 24. P. 9048–9055.
- Functionalization of Carbon Nanotubes with Polystyrene / D.E. Hill, Y. Lin, A.M. Rao, L.F. Allard, Y.P. Sun // Macromolecules. 2002. Vol. 35, №25. P. 9466–9471.
- Hong J.I., Schadler L.S., Siegel R.W. Rescaled electrical properties of ZnO/low density polyethylene nanocomposites // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82, №12. P. 1956–1958.
- Dang Z.M., Zhang Y.H., Tjong S.C. Dependence of dielectric behavior on the physical property of fillers in the polymer-matrix composites // Synth. Met. 2004. Vol. 146, №1. P. 79–84.
- Zois H., Mamunya Y.P., Apekis L. Structure and dielectric properties of a thermo-plastic blend containing dispersed metal // Macromol. Symp. 2003. Vol. 198, №1. P. 461–472.
- Dielectric properties and morphologies of composites filled with whisker and nanosized zinc oxide / Z. Dang, L. Fan, S. Zhao, C. Nan // Mater. Res. Bull. 2003. Vol. 38, № 3. P. 499–507.
- Gangopadhyay R., De A. Conducting Polymer Nanocomposites: A Brief Overview // Chem. Mater. 2000. Vol. 12, №3. P. 608–622.

16. Electron spin resonance of doped chalcogenide nanotubes / D. Arčon, A. Zorko, P. Cevc, A. Mrzel, M. Remškar, R. Dominko, M. Gaberšček, D. Mihailović // Physical Review B. 2003. Vol. 67. P. 125423–125432.

УДК 621.791.620

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И ПОКРЫТИЙ

*Гадалов В.Н.¹, Емельянов С.Г.¹, Сафонов С.В.²,
Абакумов А.В.¹, Ковалев С.В.¹*

¹Юго-Западный государственный университет

²Воронежский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы управления структурой и свойствами металлов, сплавов и покрытий модифицированием.

Модифицирование достаточно широко применяется в современном производстве, в частности в металлургии при получении отливок и слитков с мелкозернистым строением, а также в сварочном производстве и других отраслях.

Модифицирование (с иностранного языка – изменение, видоизменение и т.п.) – введение модификатора в металлический расплав – добавка, вводимая в расплав (модификатор) для измельчения зерна и улучшения механических свойств [1]. По данным «Большой советской энциклопедии», модификатор – это вещество, которое существенно изменяет структуру и свойства обработанного им металла или сплава.

В металлургии установлено, что чем больше зародышей в единице объема расплава, тем больше кристаллов образуется, тем они мельче и выше механические свойства металла. По этой причине в сплавах намеренно стараются облегчить формирование зародышей кристаллизации. Вещество, способствующее образованию зародышей, называют модификатором, а саму операцию – модифицированием.

У материаловедов, в частности у Ю.М. Лахтина и В.П. Леонтьевой [2], модифицирование – это использование специально вводимых в жидкий металл примесей (модификаторов) для получения мелкого зерна по механизму гетерогенного образования зародышей. Как известно, самопроизвольное образование зародышей на основе фазовых и энергетических флуктуаций может происходить только в высокочистом жидком металле при больших степенях переохлаждения. В большинстве случаев источником образования зародышей являются всевозможные твердые частицы (неметаллические включения, оксиды и т.д.), которые неизбежно присутствуют в расплаве. В случае, если частицы примеси имеют одинаковую кристаллическую решетку с решеткой и параметрами сопря-

гающихся решеток примеси и кристаллизующего вещества (более 90%), то они играют роль готовых центров кристаллизации.

Структурное сходство между поверхностями сопряжения зародыша и частицы посторонней примеси приводит к уменьшению размера критического зародыша, работы его образования, и затвердевание жидкости начинается при меньшем переохлаждении, чем при самопроизвольном затвердевании.

Таким образом, чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем мельче получается зерно. Такое образование зародышей принято называть гетерогенным.

Примеси (модификаторы) практически не изменяют химического состава сплава, вызывают при кристаллизации значительное измельчение зерна, а следовательно, улучшение механических свойств.

По мнению авторов [3], модифицирование – это процесс активного регулирования первичной кристаллизации или изменения степени дисперсности кристаллизующихся фаз путем введения в расплав отдельных элементов или их соединений. Модифицированием можно добиться не только измельчения макро- и микрозерна, а также фазовых составляющих эвтектик, первичных кристаллов и неметаллических включений, при этом возможно изменение формы и распределение последних.

Модифицирование металлов можно произвести несколькими способами: вводом в расплав добавок-модификаторов; применением различных физических воздействий (регулирование температуры расплава, предварительное охлаждение расплава при переливе, суспензионная разливка, литье в температурном интервале кристаллизации, вибрация, ультразвук, электромагнитное перемешивание, обработка лазерным излучением и др.); комбинированными способами, сочетающими вышеизложенные.

По природе воздействия модификаторы можно разделить на три вида: 1-го, 2-го и 3-го родов. Модификаторы 1-го рода влияют на структуру за счет изменения энергетических характеристик (энергии активации и поверхностного натяжения) зарождения новой фазы. Эти модификаторы повышают смачиваемость односоставляющей сплава относительно другой, то есть снижают поверхностное натяжение на границе между ними и тем самым облегчают образование твердой фазы, контактирующей с жидкой.

Модификаторы 2-го рода изменяют структуру, влияя на нее как зародыш твердой фазы. Модификаторы 3-го рода – холодильники/инокуляторы – снижают температуру металла и повышают скорость кристаллизации, тормозя тем самым развитие ликвации элементов за счет уменьшения перегрева кристаллизующегося металлического расплава, изменяющего структуру.

Модификаторы второго рода могут быть таковыми в очень редких случаях – когда их размер и температура модифицируемого металлического расплава настолько близка к температуре затвердевания, что ее будет недостаточно для расплавления введенного в ванну модификатора и уже за-

кристаллизовавшегося на нем слоя металла. Следует отметить, что уже присутствующие в расплаве частицы твердой фазы (неметаллические включения более тугоплавкого металла) не могут быть зародышами твердой фазы, так как в соответствии со вторым законом термодинамики они просто не могут принять на себя теплоту кристаллизации, выделяющуюся при образовании твердой фазы. Поэтому часто встречающиеся в литературе утверждения о том, что зародышами кристаллизации могут быть оксиды, нитриды и сульфиды, являются довольно спорными. Но даже если эти включения и присутствуют в металле, они имеют с ним одинаковую температуру, поэтому они не могут аккумулировать дополнительное количество энергии, выделяющейся при кристаллизации в виде теплоты плавления.

Модификаторы третьего рода – инокуляторы – оказывают свое действие через охлаждение кристаллизирующегося металлического расплава. Большой темп охлаждения способствует росту скорости кристаллизации и уменьшению развития ликвационных процессов, что благоприятно сказывается на структуре металла.

Наибольшее применение получили модификаторы 1-го рода. К ним относят примеси, неограниченно растворимые в жидкой фазе и мало растворимые в твердой фазе (0,001...0,1)%. Эти примеси, в свою очередь, можно разделить на два типа: не изменяющие поверхностные свойства кристаллизующейся фазы и меняющие поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл. Модификаторы первого типа могут тормозить рост твердой фазы только за счет концентрационного барьера на границе расплав-кристалл. При этом не происходит изменения энергетических характеристик процесса. Добавки второго типа снижают поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл и избирательно концентрируются на поверхности кристаллов (дендритов). Таким образом, ввод модификаторов 1-го рода сопровождается изменением поверхностного натяжения и энергии активации в противоположных направлениях, одновременно измельчается макрозерно и укрупняется микрозерно, т. е. оказывается комплексное воздействие на макро- и микроструктуру. Модификаторы 1-го рода приведены в таблице 1.

На параметры кристаллизации и на отражающую ее макро- и микроструктуру также могут влиять модификаторы 2-го рода. Это влияние связано с контактным действием на процесс зарождения центров кристаллизации. При введении в расплав нерастворимой примеси со свойствами, близкими к свойствам кристаллизующегося вещества, происходит существенное снижение интервала метастабильности расплава и измельчение макрозерна. Такие примеси называют изоморфными с кристаллизующимся веществом и модификаторами 2-го рода. Обычное содержание модификаторов этого типа менее 0,1%. Модификаторы 2-го рода приведены в таблице 2 [4].

Таблица 1 - Модификаторы 1-го рода

Металл (сплав)	Модификатор	Примечание
Сталь	Бор, РЗМ, церий, кальций, магний, лантан, цирконий, литий, барий, уран	
Медь и медные сплавы без железа, медные сплавы с железом	Олово, сурьма, ванадий, цирконий, молибден, титан, бор, вольфрам	
Чугун	Скандий, лантан	
Чугун высокопрочный с шаровидным графитом	Первичное модифицирование сотыми долями магния или церия плюс вторичное (графитизирующее) модифицирование ферросилицием ФС75 для предотвращения появления в чугуне структурно-свободных карбидов	Перевод пластинчатых выделений графита эвтектики железо – графит в шарообразные частицы
Ковкий чугун, подлежащий термической обработке	Тысячные доли процента висмута, сурьмы или олова	
Алюминий и сплавы алюминия с кремнием (силумины) (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК9 и др.)	Натрий (0,006...0,012)%, калий, литий, висмут, сурьма (0,1...0,3)%, стронций (0,01...0,05)% (сурьма и стронций – модификаторы длительного действия), смесь солей (0,1% натрия и 2% смеси фтористого и хлористого натрия)	Переохлаждение 6–15°С. Измельчение эвтектики в системе Al-Si натрием, стронцием. Пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактную размером (2...5) мкм
Магниево-алюминиевые сплавы, содержащие алюминий	Углеродсодержащие вещества (0,3...0,6)%, хлорное железо, мел, мрамор, магнезит, гексахлорэтан, углекислый газ, ацетилен. Перегрев расплава – выдержка – охлаждение	
Магниево-алюминиевые сплавы, не содержащие алюминий	Цирконий (0,5...0,7)% либо кальций (0,1...0,2)%	

Ввод модификаторов 3-го рода (инокуляторов) в кристаллизующийся расплав обеспечивает повышение однородности и дисперсности литой структуры, оптимизацию формы и распределения неметаллических включений, уменьшение некоторых литейных дефектов. Попадая в металл, инокуляторы приводят к локальному охлаждению металлического расплава, при этом сначала на них происходит намораживание корочки твердой фазы, которая в дальнейшем вследствие нагрева от окружающего расплава расплавляется, позже расплавляется и сам инокулятор. Таким образом, инокуляторы в расплаве отбирают теплоту на собственный нагрев и расплавление, в результате снижается температура расплава.

Таблица 2 - Модификаторы 2-го рода

Металл (сплав)	Модификатор	Примечание
Стали	Алюминий, титан	Образуются тугоплавкие соединения Al_2O_3 , TiN
Серый чугун с пластинчатым графитом	Графитизирующий модификатор – кремний; стабилизирующий модификатор – марганец, хром, олово, медь, сурьма и др.	Ввод силикокальция СКЗО (0,3...0,6) % или ферросилиция ФС75 (0,5...0,8) % от массы чугуна). Цель – измельчение графита и уменьшение склонности чугуна к отбелу
Алюминиевые сплавы	Хлористый натрий, титан (до 0,15 %), ванадий (до 0,15 %), скандий, цирконий, бор	Образуются тугоплавкие соединения, изоморфные алюминию ($TiAl_3$, $ScAl_3$, VAI_6 , $ZrAl_3$, TiB_2)
	Фосфор (0,05...0,1) % или сера	Введение центров кристаллизации (фосфид алюминия AlP), измельчение первичного кремния

Эффект охлаждения приводит к росту скорости кристаллизации, что отражается на повышении однородности механических свойств в крупных кованных изделиях ответственного назначения. С увеличением массы вводимых инокуляторов скорость кристаллизации возрастает. Однако, несмотря на улучшение макроструктуры слитков и отливок, использование металлического порошка в качестве инокуляторов приводит к увеличению загрязненности стали неметаллическими включениями, в основном оксидами.

На практике элементы-модификаторы применяют в различных отраслях машиностроения. Так, при производстве качественных чугунных отливок важную роль играет модифицирование, которое позволяет управлять процессом включений графита, степенью переохлаждения чугуна, что обеспечивает получение требуемых эксплуатационных характеристик отливок. Под модифицированием чугуна понимается процесс, позволяющий управлять его структурой с целью повышения механических свойств.

При этом задачей модифицирования является обеспечение образования достаточного количества центров кристаллизации, на которых растворенный в чугуне углерод осаждается в виде графита, а не в виде цементита. Структура модифицированного чугуна определяется составом базового чугуна и скоростью охлаждения при кристаллизации. В обычных условиях кристаллизации чугун склонен к образованию отбеленных структур, которые часто являются нежелательными, так как ухудшают механическую об-

работку отливок. На структуру чугуна можно повлиять во время кристаллизации или путем термической обработки отливок. Экономические расчеты показали, что получение требуемых структур чугуна должны быть получены в процессе затвердевания.

Для получения равномерной структуры невысокого качества чугунных отливок литейщики регулируют химический состав и скорость охлаждения и применяют модифицирование. Для этого в жидкий сплав перед разливкой в небольшом количестве вводят специальные добавки (модификаторы) – ферросилиций, кальций и др. Модифицирование этими элементами позволяет получить чугун, в котором металлическая основа состоит главным образом из перлита, а графит, хотя и сохраняет пластинчатую форму, имеет оптимальные размеры, среднюю завихренность и в наименьшей степени разобщает металлическую основу.

Особым преимуществом таких чугунов является меньшая чувствительность к скорости охлаждения, благодаря чему удается получить одинаковую перлитную структуру в сечениях отливки толщиной от (5...10) до 100 мм и даже больше при одинаковом химическом составе чугуна.

Однако вследствие того, что графит в модифицированных чугунах имеет пластинчатую форму, пластичность и вязкость остаются низкими (относительное удлинение (0,5...1)%, ударная вязкость (0,05...0,1)МДж/м). Модифицированные чугуны обладают повышенной герметичностью, и их можно использовать для деталей, работающих под давлением (газовым или гидравлическим).

После модифицирования чугуна магнием (0,03...0,07)% графит приобретает шаровидную форму. В результате не только повышается прочность чугуна, но и возрастают его пластичность и вязкость (высокопрочные чугуны).

Анализ литературы [5-10] по вопросам теории и практики модифицирования и рафинирования чугунов показал, что до настоящего времени не существует единой точки зрения на механизм модифицирования сплавов. Наличие ряда теорий модифицирования железоуглеродистых расплавов обуславливает широкий набор модификаторов и рафинирующих добавок, содержащих до 13 и более компонентов. Способы обработки расплавов и составы модифицирующих веществ подбираются в каждом конкретном случае экспериментально с использованием методов математического планирования экспериментов.

В реальных условиях эффективность воздействия различных химически активных элементов на расплав обусловлена, в первую очередь, рафинирующей способностью (степенью способности очистки от кислорода и серы). Часто в качестве десульфураторов применяется магний и кальций, содержащие материалы.

Общеизвестно, что для хорошей обрабатываемости серого чугуна большое значение придается балансу марганца и серы. Кристаллическая решетка сульфида марганца и графита в значительной степени сравнимы, по-

этому сульфид марганца может выступать в роли центров кристаллизации графита.

В высокопрочных чугунах, напротив, оказалось, что на стабильных сульфидных ядрах формируются включения сложных силикатов, которые после изменения в результате взаимодействия с модификаторами становятся потенциальными центрами кристаллизации. Тем не менее и для серых, и для высокопрочных чугунов используются одни и те же графитизирующие модификаторы.

Графитизирующие элементы в составе чугуна способствуют образованию связей углерод-углерод и формированию графита в структуре. К таким элементам относятся кремний, фосфор, алюминий, никель, кобальт, медь, кальций, барий, стронций. В то же время карбидстабилизирующие элементы будут способствовать связям углерод-железо, формируя в структуре цементит. К ним относятся ванадий, хром, марганец, молибден, вольфрам, азот, магний и РЗМ.

Критериями степени эффективности графитизирующих модификаторов являются уменьшение склонности чугуна к отбелу, снижение величины переохлаждения при эвтектической кристаллизации, измельчение и улучшение формы зерен, продолжительность действия модифицирующего эффекта.

Практическим путем были выявлены общие закономерности, определяющие наиболее универсальные составы комплексных модификаторов. Большинство модификаторов являются так называемыми «носителями», содержащими небольшие количества важных элементов-графитизаторов, которые формируют в расплаве частицы – центры кристаллизации графита. При этом «носитель» должен обеспечивать быстрое и равномерное усвоение и распределение графитизаторов в расплаве с целью достижения оптимального протекания процесса модифицирования. В качестве «носителя» наибольшее распространение получил ферросилиций. Использование чистого ферросилиция показало, что он не оказывает какого-либо воздействия на формирование центров кристаллизации графита. Необходимо наличие ограниченного количества графитизаторов, особенно если данные элементы вводятся в расплав в виде сплава с «носителем». Высокая эффективность действия модификатора на основе кремния объясняется возникновением локальных химических и тепловых неоднородностей при растворении модификатора в расплаве. Графитизаторы должны обладать ограниченной растворимостью в чугуне и образовывать стабильные соединения с другими элементами (оксиды, сульфиды), формируя неметаллические включения, являющиеся центрами кристаллизации.

При длительной выдержке модифицированного металла происходит постепенное снижение модифицирующего эффекта. В разных источниках данный эффект называют «живучестью» модифицирования, или эффектом «старения». Этот эффект при длительной выдержке чугуна перед заливкой

форм постепенно приводит к формированию и укрупнению карбидов и, как следствие, к уменьшению количества потенциальных центров кристаллизации графита с течением времени, что ухудшает структуру чугуна. Движущей силой укрупнения карбидов является уменьшение удельной поверхности включений, ввиду того, что любая система стремится к снижению своей полной энергии. Однако объемная доля неметаллических включений при этом остается неизменной из-за высокой стабильности фазы. Эффект «старения» протекает очень быстро и начинается сразу же после проведения модифицирования, когда расстояние между включениями невелико.

Скорость снижения модифицирующего эффекта напрямую связана со скоростью диффузии элементов-модификаторов в жидком металле. Анализ известных теоретических и практических данных показывает, что чем интенсивнее влияние модификатора в начальный момент после модифицирования, тем быстрее оно затухает во времени. С понижением температуры расплава продолжительность модифицирующего эффекта возрастает, а эффективность модифицирования, вследствие ухудшения усвоения модификаторов, снижается.

Используемые модификаторы различны по химическому составу, но, к сожалению, точные данные по их сравнительной эффективности отсутствуют, т.к. не существует шкалы эффективности модификаторов по отношению к получаемым свойствам чугунов. В последние годы широкое применение получили комплексные модификаторы, содержащие барий, стронций, цирконий. Термодинамический анализ реакций взаимодействия бария с компонентами чугуна при температурах расплава показывает наибольшее сродство бария в первую очередь к кислороду, затем к сере и углероду. Обобщая литературные данные [11 и др.], можно сказать, что механизм действия бариевого модификатора сводится к переводу микрочастиц графита, находящихся в расплаве, в активированное состояние вследствие удаления из жидкого чугуна кислорода, находящегося в основном в свободном состоянии. Повышение концентрации кремния и пониженная концентрация кислорода в локальных зонах обеспечивают повышение активности углерода, тем самым создаются благоприятные условия для стимулирования процесса зародышеобразования и кристаллизации графита. Длительность действия графитизирующего модифицирования силикобарием сохраняется в течение (15...25) мин. Комплексные модификаторы с барием хорошо растворяются в чугуне, их расход, по сравнению с кальцийсодержащими комплексными модификаторами, значительно меньше. Исследования, подтвержденные практикой их применения, показали, что наибольший интерес представляет FeSi с добавкой (2...4)% Ba, имеющий наибольший модифицирующий эффект и являющийся технологичным с точки зрения его производства. Стронцийсодержащие модификаторы на основе ферросилиция обладают практически одинаковой с кальцием активностью по отношению к кислороду и сере. Влияние циркония на про-

цесс зародышеобразования и на характер кристаллизации до конца не выяснено, однако обработка чугунов модификаторами FeSiZr, FeSiMnZr является благоприятной с точки зрения улучшения структуры чугунов и повышения уровня их механических свойств. Температурный диапазон взаимодействия FeSiZr с расплавом составляет (1105...1540)°C, FeSiMnZr – (1105...1290)°C.

В зарубежной практике большое распространение получили графитизирующие модификаторы фирмы «ElkemASA» (Норвегия) – Superseed 75, Ultraseed, Foundrisil, Varinos и др. Основой этих модификаторов является ферросилиций, содержащий более 70% кремния. Эффективность действия некоторых из них рассмотрена в работе [7]. Эффективность и продолжительность действия модификатора зависят от его химического состава. Стронцийсодержащий модификатор создает максимальное количество включений графита, но эффективность его действия во времени быстро затухает, поэтому модифицирующий эффект сохраняется не более 12 минут. Барийсодержащий модификатор также создает большое количество включений графита, но при этом обладает значительно большей продолжительностью действия модифицирующего эффекта.

На величину графитизирующего эффекта одновременно с химическим составом в значительной степени оказывают влияние фазовый состав и размер структурных составляющих модификатора.

В России разработкой и производством графитизирующих модификаторов занимается «Компания НПП» (г. Челябинск). Модификаторы серии SIBAR предназначены для обработки серого и высокопрочного чугунов. Их применение позволяет не только предотвращать отбел, но и выравнивать структуру и механические свойства чугуна в отливках с разной толщиной стенки. Эффективность модификаторов возрастает с увеличением содержания в них бария в комбинации с высокой концентрацией кремния и некоторым нормированным количеством кальция и алюминия. Однако существенная добавка марганца обеспечивает высокую «живучесть» модифицирующего эффекта и при относительно небольшом содержании бария.

Модификаторы серии Z-GRAPH предназначены для графитизирующей обработки серого чугуна. Под их воздействием измельчаются графитовые включения и одновременно увеличивается их количество, что приводит к повышению механических свойств чугуна. Наличие в модификаторах активных элементов Zr, Ba позволяет получать тонкостенные отливки без отбела, нейтрализовать вредное влияние азота.

Si-extra – серия графитизирующих модификаторов для серого и высокопрочного чугуна с высоким и средним содержанием серы. Обработка чугуна этими модификаторами позволяет предотвращать отбел, формировать в структуре равномерно распределенный графит типа «А», нейтрализовать вредное влияние азота, устранять дефекты газоусадочного характера и повышать механические свойства чугуна.

CARBAMAX является модификатором для ковшовой обработки серого и высокопрочного чугуна ферритного класса. Он обладает мощным графитизирующим эффектом и достаточно большой продолжительностью действия, что позволяет применять его для производства крупногабаритных отливок. Предотвращает появление отбела в тонких сечениях отливок, выравнивает структуру чугуна. Примеры применения данных модификаторов рассмотрены в работе [6].

Предприятие ООО НПК «Металлтехнопром» (г. Иркутск) ведет переработку, обогащение барий-стронциевых руд и получение барий-стронциевых карбонатов (БСК). Применение модификатора БСК-2 позволяет улучшить литейные свойства жидкого металла, механические и эксплуатационные качества отливок, особенно при низких температурах; увеличивает пластические свойства слитков, поковок и отливок, уменьшает карбидную неоднородность и количество газовых включений при кристаллизации металла. Экспериментальным путем было установлено, что при выплавке чугуна в электропечах подача БСК в печь не приводит к изменению свойств чугуна, что объясняется ограничением модифицирующего воздействия карбоната на расплав. Длительность действия БСК не превышает (25...30) минут. Наилучшие результаты были получены при подаче модификатора в ковш при выпуске чугуна. Оптимальный расход БСК составляет (0,7...1,0)% от массы жидкого расплава, а температура обработки (1500...1550)°C.

Обработка БСК-2 повысила жидкотекучесть чугуна на 74%, снизила отбел на 64%, твердость на 18% и прочность на 17%. Указанные изменения связаны с некоторым уменьшением углеродного эквивалента чугуна, изменением его газосодержания, а также частичным переходом бария и стронция в сплав.

Наибольший эффект повышения механических свойств при модифицирующем воздействии БСК на жидкий чугун наблюдается в вагранке [11].

Таким образом, обработка чугуна модификаторами, содержащими графитизирующие элементы, способствует улучшению эксплуатационных свойств отливок. Выбор оптимального графитизирующего модификатора должен осуществляться в соответствии с используемым способом модифицирования применительно к конкретной технологии изготовления отливки.

В работе [10] рассмотрено управление структурным состоянием расплава чугуна, а следовательно, и процессом формирования заданных свойств при кристаллизации с помощью фуллереновых наномодификаторов. Одним из свойств фуллеренов, которое кардинально изменяет взгляды на структуру жидкого чугуна, является наличие физической поверхности раздела *фуллерен-расплав* со всеми термодинамическими параметрами, присущими фазовым поверхностям раздела, что открывает возможности объяснения целого ряда явлений при модифицировании и кристаллизации расплавов чугуна. Наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию

не только графитной фазы, но и на фосфидную эвтектику, и на первичное зерно чугуна, и на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации.

В металлургическом производстве, в частности литейном, установлено, что стали, чугуны и сплавы с мелкокристаллической структурой обладают рядом преимуществ в конструкционных и технологических свойствах перед подобными материалами с крупнокристаллической структурой. Одним из перспективных направлений получения сплавов с мелкокристаллической структурой является модифицирование их нерастворимыми ультрадисперсными порошками (УДП), которые представляют собой порошки различных материалов субмикронного размера (менее 1 мкм) на основе тугоплавких соединений.

Как было сказано выше, под модифицированием понимаем процесс непосредственного регулирования первичной кристаллизацией и изменений дисперсности кристаллизующихся фаз путем ввода в расплав малых добавок отдельных химических элементов или соединений [13–16].

Действие таких модификаторов главным образом основано на том, что микрочастицы УДП, являясь центрами кристаллизации металлического расплава, способствуют формированию мелкокристаллической структуры сплава, тем самым повышая прочностные и пластические свойства конечного изделия. В зависимости от типа металлов временное сопротивление разрыву у сплавов с добавкой УДП может повышаться на (5...15)%, пластичность – в (1,5...3,0) раза. Измельчение структуры приводит к повышению механических свойств металла во время затвердевания и как результат к уменьшению склонности возникновения горячих трещин.

Применяемые модификаторы условно можно разделить на графитизирующие, стабилизирующие цементитную фазу и сфероидизирующие. Графитизирующие модификаторы стимулируют процесс графитизации при эвтектическом превращении посредством образования дополнительных центров кристаллизации графита. С увеличением их числа снижается переохлаждение расплава перед затвердеванием эвтектики, что способствует предотвращению отбела поверхностного слоя отливок и структуры переохлажденной графитной эвтектики. Стабилизирующие модификаторы практически не влияют на процесс графитизации при затвердевании чугуна. Они применяются для сохранения цементитной фазы после эвтектического превращения, в результате чего содержание перлита в структуре отливок увеличивается, обеспечивая рост прочностных характеристик. Сфероидизирующие модификаторы обеспечивают изменение формы графита в сторону приближения ее к глобулярной. Обычно сфероидизирующие модификаторы используют для получения чугунов с вермикулярной и шаровидной формой графита.

В большинстве случаев в практике литейного производства используют комплексные модификаторы, в состав которых входят магний, кремний, литий, алюминий, кальций, марганец, бериллий, церий, иттрий и другие

редкоземельные металлы (РЗМ). В качестве основы лигатуры обычно используют никель, медь, кремний или кальций.

Наибольшее распространение в стране и за рубежом получили лигатуры, в состав которых входит магний, обладающий высоким модифицирующим и рафинирующим действием.

Не менее распространенными модификаторами являются РЗМ. Их введение в чугун обеспечивает нейтрализацию вредного влияния элементов деглобуляризаторов графита (свинец, мышьяк, сурьма, висмут, титан и др.) благодаря связыванию их в тугоплавкие соединения. РЗМ, как и кальций, при определенных условиях способствует образованию мелкозернистой структуры чугуна с большим количеством включений графита.

Использование высококонцентрированных или чистых РЗМ нецелесообразно в силу их высокой стоимости и большого угара элементов при обработке жидкого чугуна. Наиболее рациональным решением этого вопроса является использование РЗМ в составе многокомпонентных лигатур, содержащих такие элементы, как магний, кальций, кремний, алюминий. Эти элементы при получении лигатур в ферросплавных печах восстанавливают РЗМ из комплекса соединений в полуфабрикатах, которые используют в шихтовых материалах.

Повышение качества литого металла в слитках, полученных непрерывной разливкой стали, устранение таких дефектов, как осевая пористость, химическая и структурная неоднородность, является важной задачей в практике непрерывного литья. Для устранения данных дефектов применяют различные методы, но наиболее действенным способом является модифицирование металла, в частности УДП. Применение УДП приводит к шарообразному виду перлитных структур в феррите, а последующаяковка этих образцов приводит к более мелкозернистой структуре перлита в модифицированном образце.

При модифицировании в расплаве появляется большое число центров кристаллизации. В результате выделяется теплота кристаллизации, и переохлаждение почти исчезает. Дальнейший рост центров кристаллизации зависит от характера влияния примесей либо физических воздействий на обстановку в пограничной зоне *кристалл-расплав*. В большинстве случаев растворимые либо нерастворимые примеси оказывают тормозящее действие на рост кристаллов, при этом конкретный механизм торможения роста зависит от природы примеси и механизма ее модифицирующего действия.

При модифицировании железа введением 0,1% церия и лантана переохлаждение снижалось с 320 до (40...50)°С, а при введении РЗМ в сталь – с 260 до (10...30)°С. Вместе с тем при рафинирующем действии модификаторов (очистка от неметаллических включений) наблюдали большее переохлаждение сравнительно с немодифицированным расплавом. Модифицирующая роль РЗМ проявляется только при небольших перегревах стали и в короткий период времени. Аналогичная картина имеет место при модифицировании цветных металлов и сплавов. Поэтому стремятся проводить мо-

диффицирование непосредственно перед заливкой расплава либо вводят модификаторы непосредственно в струю заливаемого расплава.

Модифицирование стали и чугунов УДП улучшает не только структуру материалов, но также улучшает механические свойства некоторых материалов. Поэтому в области модифицирования материалов различными видами УДП и способами их введения являются актуальными исследования влияния УДП на свойства различных материалов.

В реальных условиях, как было сказано выше, эффективность воздействия различных химически активных элементов на расплав связана, прежде всего, с рафинирующей способностью (степенью очистки от серы и кислорода). В качестве десульфураторов используют в основном магний- и кальцийсодержащие материалы.

Основными факторами, определяющими эффективность модифицирования чугуна, принято считать:

- состав, количество и очередность ввода модификатора;
- качество исходных шихтовых материалов и способ их переплава;
- химический состав расплава чугуна;
- способ подачи металла в литейную форму;
- скорость и условия затвердевания чугуна в различных зонах отливка.

Из анализа теорий различных видов модифицирования чугунов следует, что модифицирование является универсальным средством управления кристаллическим строением отливка. Однако в методологии модифицирования отсутствует единое мнение в вопросах влияния модификаторов на формирование характеристик литого металла на различных этапах кристаллизации, что затрудняет их выбор и сдерживает применение интенсивных методов воздействия на структуру чугунов. Сведений о влиянии ультрадисперсных и особенно нанодисперсных порошков недостаточно. Проблемы термодинамики, адсорбции и гетерогенизации изучены лишь при раскислении стали, причем принципы выбора модификаторов, формирующих устойчивый раствор, противоречивы. Традиционное модифицирование чугуна становится малоэффективным, поэтому повышение эффективности модифицирования представляет научную и народно-хозяйственную проблему.

В современном мире сварочное производство занимает одно из важнейших мест в машиностроении, так как большинство изделий производится при помощи различных способов сварки. Поэтому актуально применение модификаторов, в том числе модификаторов с наноразмерными частицами, в сварочном производстве. Хотя данное направление является новым, уже есть некоторые научные разработки в данной области.

В работе [12] приведены результаты исследования по использованию в качестве модификатора бария при выплавке трубных сталей и сварке нефтегазопроводов. Введение (1...3)% Ва в электродное покрытие обеспечивает высокую трещиностойкость сварных соединений как на воздухе, так и в коррозионно-агрессивных средах. Скорость коррозии сварных металло-

конструкций нефтегазопроводов снижается в (4...7) раз. При этом более высокая эффективность бария по сравнению с кальцием достигается только за счет снижения содержания серы и фосфора. Введение расплава стали нанодисперсных металлических и неметаллических порошков [16], свойства которых существенно отличаются от свойств макро- и микропорошков того же химического состава, способствует модифицированию металла и вызывает перераспределение вредных примесей между границами и объемами зерен. Размер зерен при этом уменьшается, что приводит к повышению пределов текучести и прочности, увеличению пластичности и деформируемости стали, а также к снижению коэффициента трения. В качестве нанодисперсного компонента использовали порошок карбида вольфрама. Материал, транспортирующий нанодисперсный порошок, – порошок никеля, в который при совместной обработке в планетарной мельнице внедряли карбид вольфрама. В результате получали никелевые гранулы, в которых содержалось около 30% нанокарбидов. Введение никеля и нанокарбидов вольфрама в электродные покрытия приводит к трансформации структуры металла в модифицированный субдисперсный твердый раствор на основе Fe с остаточным аустенитом, расположенным по границам зерен. Количество неметаллических включений, которые прежде имели произвольные очертания и были неравномерно распределены в металле, сократилось на (15...20)%. Такая структура металла должна способствовать, как установлено, повышению его пластических свойств в условиях отрицательных температур и циклического нагружения. Изменение структуры и химического состава металла привело к увеличению его твердости на (23...25)%. В работе [17] приведена технология сварки жаропрочных никелевых сплавов с применением частиц тугоплавких соединений. Для повышения свойств металла шва применяли модифицирование металлической ванны с дисперсными инокуляторами, в частности карбонитридом титана. Введение компонентов осуществляли переплавом дополнительного трубчатого электрода на никелевой основе, внутренняя полость которого заполнялась порошкообразным модификатором. В макроструктуре металла шва имеют места зерна, границы которых в основном приблизительно одинаково удалены от центра. Размер зерна при этом уменьшается. Анализ микроструктуры модифицированного шва показывает, что карбиды имеют компактную округлую форму, расположены в большей части на границах зерен, что, по-видимому, и упрочняет их, обуславливая повышенную жаропрочность. Структура околосшовной зоны имеет меньший размер зерна, что несколько повышает свойства всего сварного соединения. Таким образом, повышение свойств металла шва при его модифицировании обусловлено снижением уровня ликвации, улучшением морфологии и топографии карбидных фаз.

В настоящее время уже имеется технология применения наноматериалов при высокотемпературной обработке никель-хромовых сплавов при электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке [18]. При этом возможно

управление макро- и микроструктурой жаропрочных никель-хромовых сплавов и их физико-механическими свойствами *при помощи введения* в расплав наночастиц карбонитрида титана в виде нанокристаллов, которые служат центрами кристаллизации.

В работах [19,20] приведена технология лазерной сварки с применением нанопорошка, позволяющая получать сварной шов с существенно улучшенными прочностными свойствами. Суть технологии – введение в сварной шов порошка тугоплавкого соединения (например, карбида или нитрида титана) с наноразмерными частицами. Это позволяет управлять процессом кристаллизации металла при сварке. Введение нанопорошка в сварной шов изменяет процесс зародышеобразования, которое происходит на наноразмерных частицах на границе контакта трех фаз (наночастица – зародыш – расплав) и резко изменяет строение и размер (морфологию и дисперсность) растущего зерна. Структура металла шва вместо игольчато-дендритной становится квазиравноосной и мелкодисперсной. Сварной шов с дендритно-игольчатой структурой не столь прочен, как с мелкодисперсной. Уменьшается размер неметаллических включений, соответственно, повышаются механические свойства (прочность и пластичность) металла шва, возрастает в несколько раз относительное удлинение, увеличиваются пределы прочности и текучести.

Исследователями изучен процесс лазерной сварки с применением нанопорошковых инокуляторов, в качестве нанопорошковых инокуляторов использовались тугоплавкие соединения TiN, TiC, Y₂O₃, а также их смеси, плакированные хромом. Подготовленную композицию наносили в виде суспензии на поверхность свариваемых пластин. Применение наномодификаторов позволяет повысить скорость сварки при той же мощности луча за счет увеличения коэффициента поглощения интенсивности лазерного излучения. При этом уменьшается ширина сварного шва, улучшается качество соединения, измельчается структура металла сварного шва, существенно возрастают его механические характеристики. В работе [22] приведены результаты исследования лазерной сварки стали с титановым сплавом. Для проведения экспериментов использовали коррозионно-стойкую сталь и титановый сплав с промежуточными вставками. Наиболее эффективной оказалась вставка на основе меди М1. При этом сварное соединение с медной вставкой обладает высокой прочностью.

Список литературы

1. Толковый металлургический словарь. Основные термины / Г.А. Лопухов, В.А. Цирульников, В.И. Куманин [и др.]; под ред. В.И. Куманина. М.: Рус.яз., 1989. 446 с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
3. Рябчиков И.В., Панов А.Г., Корниенко А.Э. О качественных характеристиках модификаторов // Сталь. 2007. №6. С.18-23.
4. Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. М.: Изд-во РУДН, 2008. 227 с.

5. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и сталей. М.: Металлургия, 1986. 271 с.
6. Рябчиков И.В. Модификаторы и технологии внепечной обработки железоуглеродистых сплавов. М.: ЭКОМЕТ, 2008. 400 с.
7. Скаланд Т. Исследование продолжительности действия модификаторов в чугуне с графитом различной формы // Литейное производство. 1996. №6. С. 11–13.
8. Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна / В.К. Афанасьев, Р.С. Айзатулов, Б.А. Кустов [и др.]. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. 258 с.
9. Коровин В.А., Леушин И.О., Горещкий В.А. Взаимосвязь процессов плавки и модифицирования высокопрочного чугуна // Труды Нижегородского технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2010. №3. С. 224–229.
10. Давыдов С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна // Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей. Челябинск, 2006. 40 с.
11. Ивакин В.Л., Черняк С.С., Пимнев Д.Ю. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барий-барий-стронциевым карбонатом. Иркутск, 2004.123с.
12. Кинетическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca, Fe-Si-Ca-Ba / А.А. Дерябин, В.С. Цепелев, В.В. Коначко [и др.] // Изв. вузов. Серия «Черная металлургия». 2008. №4. С. 3–6.
13. Применение ультрадисперсных порошков для улучшения свойств металлов и сплавов / А.Н. Черепанов, В.А. Полуобояров, А.П. Калинин [и др.] // Материаловедение. 2000. №10. С. 45-53.
14. Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. Технологические особенности модифицирования литейных расплавов ультрадисперсными реагентами и перспективы их применения при производстве отливок // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. №6. С. 38–42.
15. Бузника В.М. Ультрадисперсные и наноразмерные порошки: создание, строение, производство и применение. Томск: Издательство НТЛ, 2009. 192 с.
16. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г.Н. Соколов, И.В. Лысак, А.С. Трошков [и др.] // ФиХОМ. 2009. №6. С. 41–47.
17. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов // Омский научный вестник. 2009. №3. С. 63–67.
18. Жеребцов С.А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никель-хромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новокузнецк, 2006. 22 с.
19. Афонин Ю.В., Маликов А.Г. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. 2008. №4. С. 25–26.
20. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошков инокуляров / Ю.В. Афонин, А.Н. Черепанов, А.М. Оришич [и др.] // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. СПб., 2008. Т. 12. С. 322–324.
21. Черепанов А.Н., Афонин Ю.В., Оришич А.М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляров // Тяжелое машиностроение. 2009. №8. С. 24–26.

УДК 621.791

**РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ РАКЕТНО-
КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ***Логачева А.И., Логунов А.В., Разумовский И.М.**ОАО «Композит», Королев*

Рассмотрены основы интерметаллидных сплавов для ракетно-космической и авиационной, а также их совершенствование и развитие.

Уже более 20 лет во всем мире активно ведутся работы по созданию интерметаллидных конструкционных материалов, в частности жаропрочных сплавов. Принято считать, что интерметаллидные сплавы могут сочетать полезные качества металлических материалов и некоторые полезные свойства химических соединений.

В настоящей работе проведен анализ результатов, полученных в этом направлении исследований как у нас в стране, так и за рубежом. Кроме того, представлены интерметаллидные конструкционные материалы, разработанные в ОАО «Композит».

Основным недостатком интерметаллидов как конструкционных материалов является хрупкий характер разрушения при комнатной температуре. Хрупкость может проявляться как зернограничная, например в Ni_3Al (монокристалл пластичен), или, что бывает чаще, объемная, например в NiAl (монокристалл, как и поликристалл, разрушается хрупко).

Информация, накопленная за многие годы всесторонних исследований интерметаллидов, позволила разработать несколько эффективных способов их пластифицирования, а именно:

а) в системах с зернограничным характером разрушения – микролегирование границ зерен или получение монокристаллических деталей, в которых большеугловые границы зерен вообще отсутствуют;

б) создание гетерофазной структуры с пластичной составляющей – либо равновесной, если это позволяет диаграмма равновесия сплава, либо неравновесной;

в) измельчение микроструктуры – вплоть до создания наноструктур;

г) специальные способы пластифицирования – например, когда пластичность материала, состоящего из двух хрупких фаз, обеспечивает перемещение дислокаций по межфазным границам.

Интерметаллид Ni_3Al

Уже в середине 60-х годов стало ясно, что соединение Ni_3Al является главной упрочняющей фазой жаропрочных никелевых сплавов. Интерметаллид Ni_3Al обладает одной привлекательной особенностью, которая выделяет его среди многих других соединений: предел текучести Ni_3Al уве-

личивается при повышении температуры. Это свое полезное свойство Ni_3Al передает некоторым жаропрочным никелевым сплавам.

Главным недостатком поликристаллов Ni_3Al является хрупкость при комнатной температуре. При изучении разрушенных поликристаллических образцов было установлено, что разрушение происходит по границам зерен, а дополнительные исследования показали, что монокристаллы из Ni_3Al пластичны, как металлический никель [1, 2, 3, 4].

Стало ясно, что хрупкость Ni_3Al определяется состоянием границ зерен. Результаты исследований границ зерен показали, что на границы можно эффективно воздействовать путем легирования [5] и микролегирования [2]. При этом особенно эффективным оказалось микролегирование бором [2, 6] по аналогии с жаропрочными никелевыми сплавами [7]: введенные в сплав атомы бора «высаживались» на границах зерен, устраняя эффект зернограничной хрупкости при комнатной температуре.

Второй способ пластифицирования интерметаллида Ni_3Al более тривиален и вытекает из анализа диаграммы равновесия **Ni-Al**: создание двухфазного сплава $\gamma - \gamma'$ (металл – интерметаллид). Очевидно, что введение в хрупкую поликристаллическую среду пластичных металлических прослоек может способствовать повышению пластичности хрупкого поликристаллического материала. Такой способ использован при разработке интерметаллидного сплава ВКНА-4 с равноосной зеренной структурой [8].

И, наконец, третий способ пластифицирования оригинален с технологической точки зрения: предложено получать интерметаллидные сплавы на основе Ni_3Al методом направленной кристаллизации; монокристаллы интерметаллида Ni_3Al вообще не содержат большеугловых границ зерен и потому не подвержены зернограничной хрупкости. Такой способ реализован при создании интерметаллидных сплавов ВКНА-4У и ВКНА-1В [8], которые используются в авиационной технике. Другие примеры использования интерметаллидных Ni_3Al -сплавов можно найти в работе [9] – изготовление жаропрочных трубок и «фурнитуры» для печей.

В ОАО «Композит» разработан гранульный вариант интерметаллидного жаропрочного сплава на основе Ni_3Al . По нашим прогнозам, новый сплав должен обладать лучшим комплексом служебных характеристик по сравнению с литейными сплавами типа ВКНА. Некоторые особенности гранульного сплава привлекают особое внимание: например, данный интерметаллидный сплав не только сам является свариваемым, но и хорошо сваривается со сталью. Новые технические решения, созданные при разработке гранульного интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al , защищены патентами РФ.

Интерметаллид TiAl

Исследованию алюминидов титана посвящено, по-видимому, наибольшее количество работ; направление создания интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана подпитывалось наибольшими ресурсами. Это связано с тем, что алюминиды титана имеют очень привлекательные

удельные характеристики жаропрочности [9]. Но их главный недостаток прежний: хрупкость при комнатной температуре. После сообщений о том, что в двухфазной структуре $TiAl - Ti_3Al$ появляется пластичность, эти сплавы сразу стали объектом пристального внимания материаловедов. Исследования показали, что пластичность могут обеспечивать дислокации, расположенные на межфазных границах. В результате были намечены пути пластифицирования алюминидов титана, решены вопросы прогнозирования стабильности пластинчатых структур при повышенных температурах. Модель диффузионного огрубления пластинчатых структур и исследование кинетики этого процесса в системе $TiAl - Ti_3Al$ можно найти в работах [10, 11].

В своем докладе на Международной конференции по интерметаллидам (Испания, 2006 г.) [12] проф. Н.-Е. Schaefer сообщил, что из интерметаллидного $Ti-Al$ -сплава в Германии для авиационного двигателя Ролс-Ройс были изготовлены лопатки компрессора и турбины и проведены успешные испытания на двигателе. Несмотря на это, интерметаллидные сплавы системы $Ti-Al$, по-видимому, до сих пор не используются в ракетно-космической и авиационной технике (см. например, обзор [13]).

Тем не менее, как сообщается в работе [12], интерметаллидные $Ti-Al$ сплавы в настоящее время используются в автомобильной промышленности.

В ОАО «Композит» разработан гранульный вариант интерметаллидного $Ti-Al$ -сплава, имеющий удовлетворительную технологическую пластичность и обладающий всеми достоинствами гранульных материалов. Новые технические решения, связанные с разработкой гранульного $Ti-Al$ -сплава, защищены патентом РФ.

Другие интерметаллидные системы – разработки ОАО «Композит»

В ОАО «Композит» разработан гранульный интерметаллидный сплав на основе $NiAl$. Здесь также получены новые технические решения, которые защищены патентом РФ.

Кроме развития традиционных интерметаллидных сплавов в ОАО «Композит» представлены и оригинальные направления научно-технической деятельности. К ним относится разработка интерметаллидного ниобиевого сплава системы $Nb-(Al,Si)$. Здесь проблема пластифицирования решается двумя способами: 1) путем введения в структуру материала пластичной металлической фазы и 2) путем измельчения микроструктуры до наноразмеров методом механического синтеза. Новые технические решения, полученные при создании этих сплавов, также защищены патентами.

Каковы перспективы применения интерметаллидных конструкционных материалов в ракетно-космической и авиационной технике?

Можно выделить два перспективных направления:

1. Использование интерметаллидов в сочетании с другими материалами при получении сложных деталей и узлов методом гранульной металлургии.

2. Изыскание новых способов пластифицирования путем получения наноразмерных структур, стабильных при повышенных температурах. Такая работа в настоящее время проводится в ОАО «Композит».

Список литературы

1. Thornton P.H., Davis R.G., Johnston T.L. Metall // Trans. 1, 207 (1970).
2. Aoki K, Izumi O. Japan Inst. Metals // Trans. 19, 203 (1978).
3. Copley S.M., Kear B.H. TMS-AIME // Trans. 239, 977 (1967).
4. Heredia F.E., Pope D.P. Acta metal. mater. 39, 2017 (1991).
5. Zulina N.P., Bolberova E.V., Razumovskii I.M. Acta mater. 44, 3625 (1996).
6. Liu C.T., White C.L., Horton J.A. // Acta metal. 33, 213 (1985).
7. Shulga A.V. J. Alloys and Compounds, 2006.
8. Е.Н. Каблов, А.В. Логунов, В.В. Сидоров. Основы материаловедения литейных жаропрочных никелевых сплавов // Литые лопатки газотурбинных двигателей: сборник / под ред. Е.Н. Каблова. М.: Изд-во. МИСИС, 2001. С. 55.
9. Morris D. Overview of present status of intermetallics // International conf. Spain, Bonascre, 2006.
10. Kardashova S.I., Lozovoi A.Yu., Razumovskii I.M. // Acta metal. mater. 42, 3341 (1994).
11. Lozovoi A.Yu., Razumovskii I.M. // Mater. Sci. Forum 207–209, 513 (1995).
12. Schaefer H.-E. International conf. Spain, Bonascre, 2006.
13. Wu X. Intermetallics 14, 1114 (2006).

УДК 669.15

ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ловшенко Г.Ф., Ловшенко Ф.Г.

Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь

Рассмотрены и изучены перспективные композиционные материалы с дисперсно-упрочненной структурой.

Дальнейшее развитие таких отраслей, как энергетика, моторо-, авиа-, ракетостроение, требует создания жаропрочных материалов на основе железа, кобальта, никеля, превосходящих по своим свойствам известные, а также в ряде случаев способных заменить дефицитные дорогостоящие и имеющие, как правило, большую плотность тугоплавкие металлы. Причем наиболее перспективными являются композиционные никелевые материалы и, прежде всего, дисперсно-упрочненные. Последние выгодно отличаются от армированных и слоистых изотропией свойств, универсальностью и относительной простотой технологии получения. Дисперсно-упрочненные материалы относятся к классу порошковых. Структура их представляет собой матрицу из металла или сплава, в которой равномерно распределены дисперсные частицы упрочняющей фазы. В качестве по-

следней применяются термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига – оксиды, карбиды, нитриты, бориды, интерметаллиды. Предельного упрочнения можно ожидать у материалов с максимально развитой поверхностью границ зерен и субзерен, закрепленных и стабилизированных дисперсными частицами упрочняющей фазы. Оптимальной представляется структура микрокристаллического типа с размером равновесных зерен 0,2–0,5 мкм. Частицы упрочняющей фазы должны иметь величину $\leq 0,05$ мкм, а общий объем $\leq 10\%$. Дисперсное упрочнение имеет очевидные преимущества перед другими методами в интервале температур 0,60–0,95 $T_{пл}$. Можно предположить, что преимущественно перед известными во всем интервале температур будут обладать материалы, имеющие комплексное упрочнение, сочетающее дисперсное, дисперсионное, и в результате образования твердого раствора.

Известны работы, направленные на создание технологий получения дисперсно-упрочненных никелевых материалов, основанных на нижеперечисленных методах – химическом смешивании, внутреннем окислении, гидрометаллургических методах – водородное восстановление в растворах и химическое соосаждение из растворов солей с последующим восстановлением, механическом смешивании, механическом легировании.

Промышленный интерес представляют технологии, базирующиеся на последних двух методах – механическом смешивании и механическом легировании. В обоих случаях получение шихты осуществляется смешиванием тонких порошков никеля, легирующих металлов и оксидов тория ThO_2 или гафния HfO_2 в смесителях типа шаровые и стержневые мельницы, турбулентные смесители, вибромельницы, атриторы. Механическое легирование отличается от механического смешивания более высокой энергонапряженностью процесса, что обеспечивает получение шихты в виде гранул с более равномерным распределением компонентов. Последующая переработка шихты (гранулированной композиции) в полуфабрикаты и/или изделие включает следующие этапы: брикетирование, спекание, горячая экструзия или прокатка, деформационно-термическая обработка.

Вышеприведенные технологии нашли промышленное применение для производства дисперсно-упрочненного никеля и никелевых сплавов. Наиболее известными марками являются TD-никель (ВДУ-1), TD-нихром, DS-никель (ВДУ-2), IN-853 и ряд других. Недостатком этих материалов является более низкая по сравнению с литыми дисперсионно-упрочненными сплавами прочность при температурах менее 900°C. Они перспективны для изготовления изделий, не испытывающих высоких напряжений, и способны работать при температурах, достигающих 1200°C. Относительно низкая прочность механически смешанных и механически легированных дисперсно-упрочненных никелевых материалов обусловлена неравномерным распределением упрочняющих фаз ThO_2 (токсичен) или HfO_2 и их грубым строением. Существенным недостатком рассматриваемых способов явля-

ется также необходимость использования в качестве исходных компонентов тонких порошков.

Целью данной работы является разработка технологии, основанной на механическом легировании, для получения материалов на основе никеля, в частности нимоников, типа ХН77ТЮ и ХН70ВМТЮ.

Для исследования фазовых и структурных превращений в материалах на различных технологических этапах их получения применялись гранулометрический, микроскопический, атомно-силовой, электронно-микроскопический анализы.

В качестве исходного сырья для получения механически легированных дисперсно-упрочненных материалов использовались стандартные порошки металлов и легирующих добавок. Обработку композиций осуществляли в энергонапряженном механореакторе, продуктом которой являлась гранулированная композиция со средним размером гранул 45–63 мкм (рис. 1).

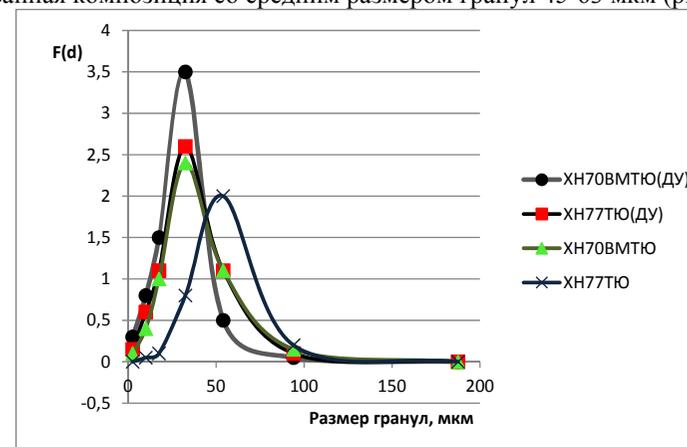


Рисунок 1 - Распределение по размеру гранул механически легированных композиций

Компактирование осуществлялось традиционными методами порошковой металлургии. Полуфабрикаты представляли собой прутки диаметром 12 мм, на котором и были проведены дальнейшие исследования механических свойств композиций. Компактные материалы характеризуются гомогенным распределением легирующих компонентов (рис. 2, 3).

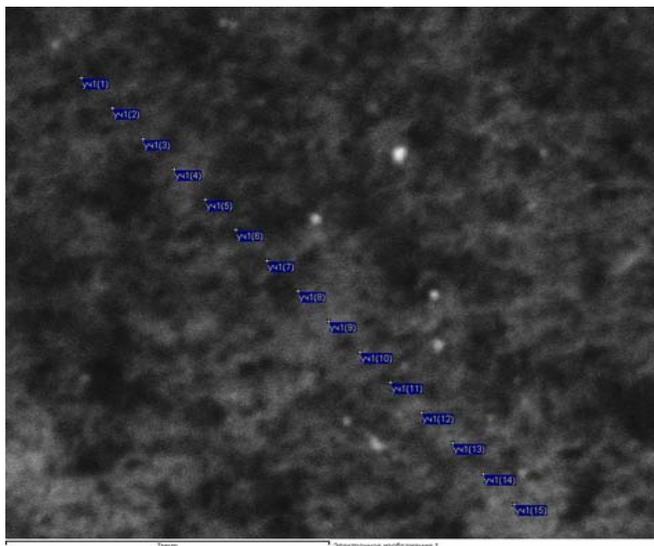


Рисунок 2 - Микроструктура компактного материала ХН77ТЮ (СЭМ)

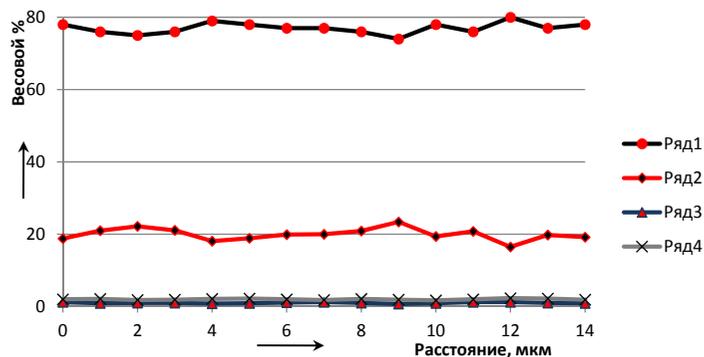


Рисунок 3 - Распределение элементов по линии сканирования в компактном материале ХН77ТЮ

В работе с применением универсальной программы АСТРА-4 проведено термодинамическое моделирование для определения равновесного фазового состава систем и адиабатической температуры взаимодействия компонентов. Результаты расчетов для материалов с эффектом дисперсного упрочнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты термодинамического моделирования в адиабатических условиях

Сплав	T _{ad} , К	Равновесный состав, % мас., при T _{ad}	Примеч.
ХН70ВМТЮ (ДУ)	1294	91,82%(65,34% Ni + 16,51% Cr + 7,26% Mo + 5,44% Fe + 5,44% W) _{ss} + 3,78% Al ₂ O ₃ + 3,17% Ti ₄ O ₇ + 1,22% Cr ₂ O ₃	γ(ГЦК)-тв. раствор
ХН77ТЮ (ДУ)	641,6	97,82%(75,79% Ni + 20,43% Cr + 1,91% Mo + 1,87% Ti + 0,005% Al) _{ss} + 1,87% Al ₂ O ₃ + 0,21% TiO + 0,013% TiAl	γ(ГЦК)-тв. раствор

Эффективность термодинамического моделирования процессов при механическом легировании для прогнозирования фазового состава сложнолегированных никелевых материалов подтверждена результатами просвечивающей электронной микроскопии (рис. 4).

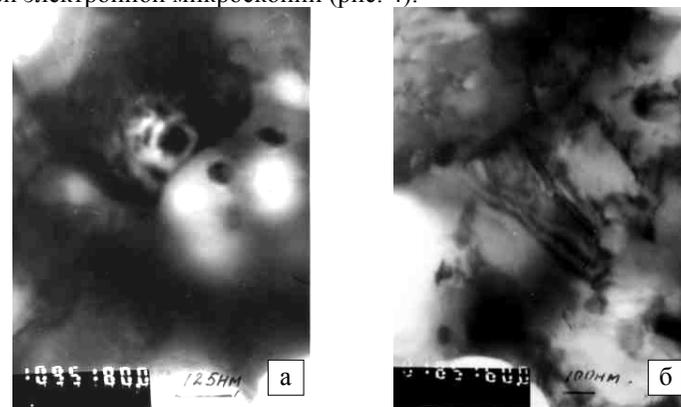


Рисунок 4 - Структура компактного материала ХН70ВМТЮ (ДУ) – светлое поле (ПЭМ)

Компактные материалы представляют собой зерна твердого раствора легирующих компонентов, в основе, по границам и внутри которых располагаются включения фаз α-Al₂O₃ [110] и Cr₂O₃ [202], имеющих высокое значение модуля сдвига и, как следствие, способных эффективно выполнять роль упрочняющих фаз. Размер механически синтезированных термодинамически стабильных фаз (Al₂O₃ и Cr₂O₃) составляет 10–35 нм, величина зерен твердого раствора – 50–100 нм. Зерна основы состоят из фрагментов со средним размером 30 нм. На изображении отчетливо видно, что упрочняющие фазы являются препятствием на пути движения дислокаций. Нанокристаллический тип структуры подтверждают данные атомно-силовой микроскопии (рис. 5).

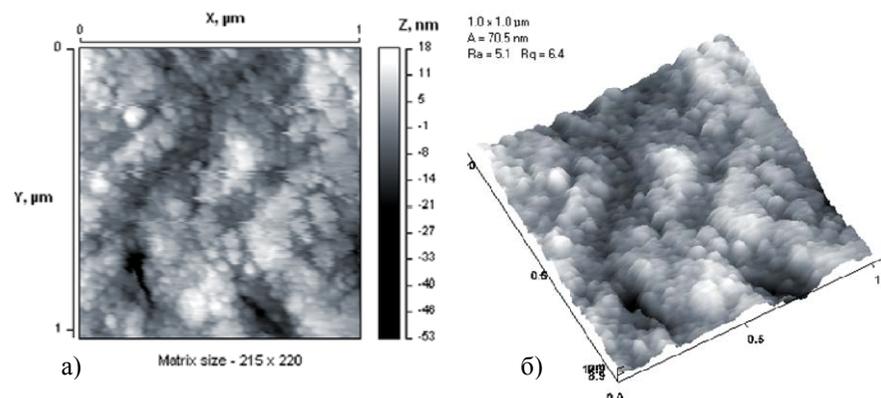


Рисунок 5 - Структура компактного механически легированного материала ХН77ТЮ (ДУ): а – двухмерное изображение; б – трехмерное изображение (АСМ)

Созданные дисперсно-упрочненные механически легированные наноструктурные никелевые материалы характеризуются высокой прочностью $\sigma_B = 1100-1170$ МПа, твердостью – 55–60 HRC и высокой стойкостью против отжига (табл. 2), упрочняющий эффект (55 HRC) сохраняется при длительном отжиге при 1100°C.

Таблица 2

Влияние температуры отжига (время отжига 8 час, атмосфера – Ar) на твердость материала ХН70ВМТЮ (ДУ)

исходная	Твердость, HRC					
	после отжига при температуре (°C)					
	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300
57	57	59	55	53	45	35

Проведенное исследование показало высокую эффективность технологии, основанной на методе механического легирования, для получения сложнолегированных материалов на основе никеля типа ХН77ТЮ, ХН77ВМТЮ. Материалы являются наноструктурными, дисперсно-упрочненными, жаропрочными и по комплексу механических свойств, как при комнатной, так и при повышенных температурах, превосходят аналоги, получаемые с применением традиционных технологий.

УДК 669.017.3; 669.918.8

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Гадалов В.Н.¹, Квашинин Б.Н.², Абакумов А.В.¹, Тураева О.А.²

¹Юго-Западный государственный университет, Курск

²Воронежский государственный университет инженерных технологий

Рассмотрены некоторые аспекты повышения эксплуатационных характеристик сложнолегированных сплавов на никелевой основе.

Наибольшее применение в современном авиа- и ракетостроении получили жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС) [1–3]. Жаропрочные сплавы на основе никеля обладают сложным химическим составом. Они содержат до 10 основных легирующих элементов, не считая многих полезных микродобавок редкоземельных металлов, тщательно сбалансированных для получения необходимых свойств, и имеют гетерофазную структуру, представляющую собой высокодисперсные частицы γ' -фазы на основе интерметаллического соединения Ni_3Al (упорядоченная ГЦК-сверхструктура типа $L1_2$), равномерно распределенных в матрице из твердого γ -раствора легирующих элементов в никеле – неупорядоченная ГЦК-структура (рис. 1).

Упрочнение в сплаве происходит за счет дисперсных частиц γ' -фазы, которые имеют кубовидную форму и образуются при распаде пересыщенного раствора в процессе охлаждения. Их объемная доля в структуре сплава достигает (60...70)%.

В области создания никелевых жаропрочных сплавов в мировой практике прослеживается тенденция повышения уровня жаропрочных свойств литейных сплавов за счет более сложного легирования. В настоящее время в качестве легирующих элементов стали использовать дорогостоящие Re, Hf, Dy и Ru. Эти элементы оказывают положительное влияние на термостабильность γ -матрицы и упрочняющей γ' -фазы, тормозят диффузионные процессы, повышая тем самым сопротивление ползучести сплавов под воздействием высоких температур и напряжений. Использование вышеуказанных микродобавок в качестве легирующих элементов приводит к удорожанию данных сплавов. Тем не менее такое легирование целесообразно вследствие заметного повышения их работоспособности и ресурса.

При получении монокристаллов из жаропрочных никелевых сплавов методом направленной кристаллизации в отливке возникает химическая и структурная неоднородность, обусловленная микроликвацией легирующих элементов в пределах дендритной ячейки. Легирующий элемент, повышающий температуру солидус, обогащает оси дендритов, однако он концентрируется в междендритных областях [4, 5].

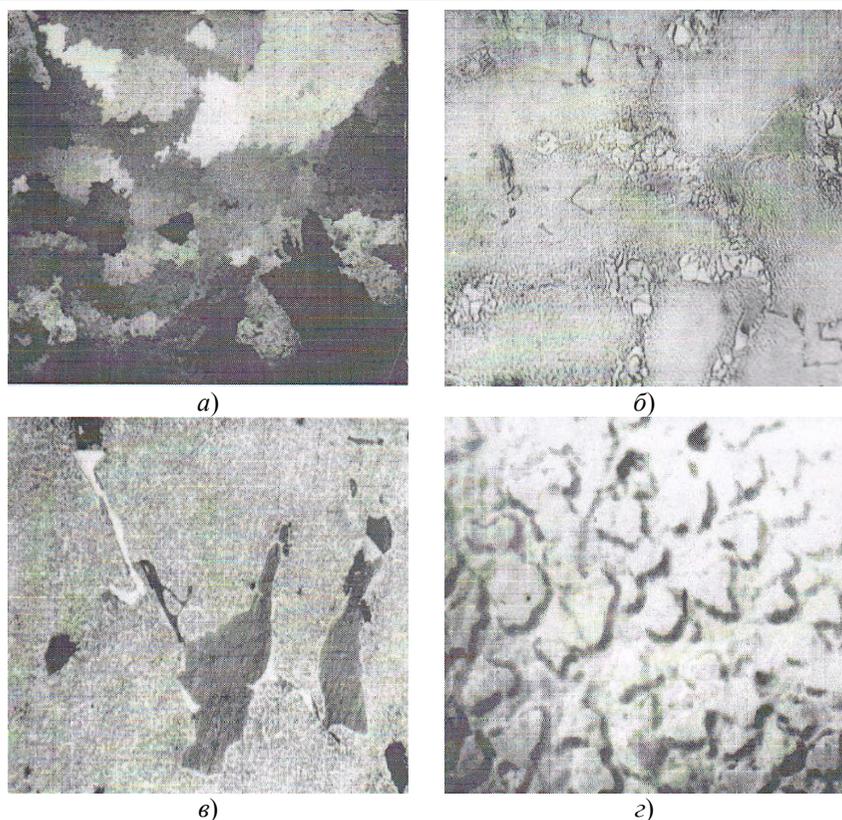


Рисунок 1 - Характерные структуры сплава ЖС6У:

a – макроструктура литого сплава ЖС6У ($\times 50$); *б* – микроструктура литого сплава ЖС6У ($\times 700$); *в* – первичная интерметаллидная упрочняющая γ' – фаза в сплаве ЖС6У ($\times 500$); *г* – вторичная γ' – фаза в сплаве ЖС6У после стандартной термической обработки ($\times 30000$)

В случае максимального легирования упрочняющими элементами в количествах, близких к предельной растворимости, в условиях неравновесной кристаллизации при получении деталей ГТД с использованием технологии точного литья существенно повышается вероятность образования избыточных фаз, не участвующих в упрочнении, такими фазами являются эвтектическая γ/γ' -фаза, ТПУ-фаза и α -фаза.

Легированные элементы Al, Ti, Ta, Nb, Pt, Hf преимущественно растворяются в γ' -фазе и поэтому их называют γ' -образующими. Элементы V, Co, Cr, Mo, Re, Ru, Ir главными образом растворяются в γ -матрице и относятся к γ -стабилизирующим элементам. Вольфрам примерно поровну распределяется между γ' - и γ -фазами. В соответствии с коэффициентом распределе-

ния концентрация рения в γ -матрице является наибольшей по сравнению с остальными элементами легирующего комплекса. Положительное влияние рения на длительную прочность обусловлено увеличением температуры солидус сплава, повышенной растворимостью рения в никелевом твердом растворе и увеличением периода кристаллической решетки, снижением коэффициентов диффузии легирующих элементов. Однако при высоких температурах и длительных ресурсах в высокорениевых сплавах образуются ТПУ-фазы. Для стабилизации фазового состава и снижения вероятности образования вредных ТПУ-фаз сплавы дополнительно легируют рутением.

Наиболее показательными параметрами фазового состава ЖНС являются коэффициенты распределения легирующих элементов между γ' - и γ -фазами:

$$K_i = C_i^{\gamma'} / C_i^{\gamma}, \quad (1)$$

где $C_i^{\gamma'}$ и C_i^{γ} – концентрации (% атомн.) i -го элемента в γ' - и γ -фазах соответственно.

Легированные элементы Al, Ta, Ti, Nb, образующие в двойных системах на основе никеля интерметаллическое соединение типа Ni_3Al , преимущественно растворяются в γ' -фазе и имеют $K_i > 1$. Элементы V, Co, Cr, Mo, Re, Ru, образующие широкие области γ -твердых растворов на основе никеля, растворяются главным образом в γ -фазе, имея $K_i < 1$.

Анализируя известные экспериментальные данные по коэффициентам распределения легирующих элементов между γ' - и γ -фазами ЖНС, содержащих рений и рутений, в порядке увеличения значений K_i для γ -стабилизирующих элементов, их можно расположить в следующий ряд: $K_{Re} < K_{Cr} < K_{Mo} < K_{Ru} < K_{Co} < K_{W}$. Как видно, коэффициент распределения рутения попадает в одну группу с молибденом и кобальтом.

Выбор оптимального химического состава ЖНС осуществляется на основе принципов сбалансированного легирования, к которым относятся:

- обеспечение фазовой стабильности сплава в широком интервале рабочих температур и ресурса, в противном случае в структуре сплавов образуются нежелательные фазы (например, ТПУ-фазы);
- оптимальное содержание высокодисперсных (0,3...0,5) мкм частиц γ' -фазы кубоидной формы и минимальный темп ее растворения (для упрочнения матричного γ -твердого раствора исходное объемное содержание γ' -фазы в структуре сплава должно составлять (60...70)%;
- объемное содержание неравновесных фаз эвтектического/перитектического происхождения (для уменьшения микропористое «окно» должно быть минимальным);
- температура полного растворения γ' -фазы в γ -твердом растворе (γ' -солвус), которая является не только характеристикой термической стабильности гетерофазной γ/γ' -структуры, но и определяет, в первом приближении, максимальный уровень жаропрочных свойств сплавов (с повы-

шением γ' -солвус возрастает высокотемпературная длительная прочность ЖНС);

- температура солидуса (если легирование повышает солидус, то диффузионная подвижность атомов в таком сплаве будет ниже и, следовательно, стабильность структуры и жаропрочность выше);

- периоды кристаллических решеток γ' -твердого раствора и γ' -фазы и их размерное несоответствие (мисфит), поскольку для достижения высокого сопротивления ползучести величины периодов кристаллических решеток фаз должны быть максимальными, а период решетки γ' -твердого раствора должен быть больше, чем γ' -фазы;

- температура плавления неравновесных фаз эвтектического/перитектического происхождения (для увеличения «окна» термообработки она должна быть максимальной, в противном случае не удастся полностью растворить γ' -фазу и провести полную гомогенизацию γ' -твердого раствора без риска плавления междендритных областей отливки из ЖНС;

- температурный интервал кристаллизации (для увеличения склонности сплавов к формированию столбчатой и монокристаллической структур и уменьшения объемной доли микропористости при направленной кристаллизации он должен быть минимальным);

- плотность сплава в межосных участках дендритов отливки; для устранения образования при направленной кристаллизации ростовых дефектов типа «струйная ликвация» она должна быть примерно равна плотности сплава.

С целью достижения максимальных характеристик жаропрочности в выбранной системе легирования расчетным путем было установлено, что величина γ/γ' -мисфита, который рассчитывается по формуле $\Delta = (a_\gamma - a_{\gamma'}) / a_{\gamma'}$, где a_γ и $a_{\gamma'}$ – периоды решеток γ - и γ' -фаз, Δ должна быть положительной при $a_{\gamma'} > a_\gamma$ и по крайней мере в (2...3) раза больше, чем у монокристаллических ЖНС с традиционной системой легирования, для которых $\Delta = (0,1 \dots 0,2)\%$.

Экспериментально установлено, что при многокомпонентном легировании жаропрочных никелевых сплавов влияние легирующих элементов на период кристаллической решетки γ' -фазы слабее, чем γ -твердого раствора. Структурно-фазовые параметры концентрационного упрочнения определяют главным образом легирующие элементы, которые в наибольшей степени изменяют период решетки γ -твердого раствора.

В таблице 1 представлен химический состав жаропрочных никелевых сплавов.

Таблица 1 - Химический состав исследованных жаропрочных никелевых сплавов, % мас.

Сплав	Основные легирующие элементы									Микродобавки		
	Al	Ti	Cr	Co	Nb	Mo	Ta	W	Re	B	C	Hf
CMSX-6	4,8	4,7	9,7	4,9	–	2,9	2,0	–	–	–	0,002	0,05
SC16	3,5	3,5	16,0	–	–	3,0	3,5	–	–	–	<0,005	–
PWA-1483	3,6	4,1	12,0	9,0	–	1,9	5,0	3,8	–	0,003	0,07	0,007
PWA-1480	5,0	1,5	10,0	5,0	–	–	12,0	4,0	–	–	–	–
SRR99	5,5	1,8	9,0	5,0	0,7	–	2,9	9,5	–	0,0013	0,015	–
ЖС6Ф	5,5	1,1	5,5	9,5	1,6	–	–	12,0	–	0,015	0,15	1,2
CMSX-4	5,6	1,0	6,6	9,6	–	0,6	6,5	6,4	3,0	<0,002	0,0063	0,1
ЖС40	5,6	–	6,1	–	0,2	4,0	7,0	6,9	–	–	–	–
CMSX-10	5,7	0,2	2,0	3,0	0,1	0,4	8,0	5,0	6,0	–	0,002	0,02
ЖС6У	5,5	2,5	9,0	10,0	1,1	1,8	–	10,5	0,5	0,005	0,19	0,1

Мисфит γ/γ' определяется главным образом теми легирующими элементами, которые наиболее сильно увеличивают период решетки γ -твердого раствора. Такими элементами в порядке возрастания влияния на период решетки γ -фазы являются Ru, Re, Mo, W, Nb и Ta. Однако эффективность упрочнения определяется не только величиной периода кристаллической решетки γ -фазы; полезный эффект зависит также от растворимости легирующего элемента в основе фазы, различия валентностей и модулей упругости, других физических констант.

Успешная реализация ряда главных положений теории легирования современных ЖНС в значительной степени связана с точностью расчета коэффициентов распределения легирующих элементов между γ - и γ' -фазами, поэтому работы в данном направлении представляются наиболее актуальными.

Список литературы

1. Гадалов В.Н., Рыжков Ф.Н. Жаропрочные литые сплавы на никель-хромовой основе, способы их термообработки. Москва – Курск, 1996. 105 с.
2. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технологии, покрытия). М.: Изд-во МИСИС, 2001. 632 с.
3. Каблов Е.Н., Базылева О.А., Воронцов М.А. Новая основа для создания литейных высокотемпературных жаропрочных сплавов // МИТОМ. 2006. №8(614). С. 21–26.
4. Голиков И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. М.: Металлургия, 1997. 224 с.
5. Дендритная ликвация и ее влияние на распределение упрочняющей γ' -фазы в жаропрочном литейном сплаве с никелевой матрицей (ЖСН) / В.Н. Гадалов, Н.Д. Тутов, Р.Е. Абашкин [и др.] // Технология металлов. 2009. №7. С. 30–33.

УДК 669.15

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С АМОРФНОЙ МАТРИЦЕЙ:
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА***Щерецкий А.А., Шумихин В.С., Лахненко В.Л., Беспалый А.А.**Физико-технологический институт металлов и сплавов, Киев, Украина**Изучены композиционные материалы с аморфной матрицей, а также особенности их получения и свойства.*

Композиционные материалы с аморфной матрицей могут быть получены двумя путями:

1. Термической обработкой аморфных сплавов с целью их частичной кристаллизации и получением нано- или микроразмерных армирующих частиц, как правило, это интерметаллические соединения. Состав и размеры включений регулируются режимами термической обработки.

2. Путем взаимодействия одного из элементов матрицы с неметаллами (графитом, бором, кремнием) на этапе получения базового сплава, который приводит к образованию соответствующих химических соединений. Синтезированные дисперсные частицы имеют субмикронные или микронные размеры и остаются в матрице после аморфизации сплава. Количество таких армирующих элементов не может превышать нескольких процентов объемной доли, так как в другом случае базовый сплав невозможно получить в аморфном состоянии.

Впервые сплавы, которые объемно аморфизуются при низких скоростях охлаждения (сто и меньше градусов за секунду) были получены в 1989 году. Этот факт открыл перспективы использования таких материалов в качестве конструкционных материалов. Оказалось, что для многокомпонентных сплавов, в состав которых входят металлы, которые образуют между собой несколько интерметаллических соединений, начинает работать принцип неопределенности. То есть конкуренция при зарождении соответствующей кристаллической фазы приводит к затратам энергии и росту времени на перестройку ближнего порядка жидкого состояния, что и позволяет достичь температуры стеклования сплава (температура, при которой вязкость достигает значений для твердого тела) при относительно низких скоростях охлаждения. Получение изделий из таких сплавов принципиально возможно обычными литейными методами, а толщина аморфного слоя при этом может быть больше 10 мм.

Для получения КМ с аморфной матрицей согласно первому способу необходимо, чтобы исходный аморфный сплав кристаллизовался (переходил из аморфного в кристаллическое состояние) в несколько стадий. Тогда контролируемая термообработка между стадиями кристаллизации даст возможность получить материал, где в аморфной матрице будут равномерно распределены мелкодисперсные включения интерметаллических соединений.

При получении КМ путем взаимодействия в расплаве до аморфизации необходимо, чтобы базовый сплав имел высокую способность до аморфизации.

Для проведения исследований использовали сплавы системы Zr-Cu-Ni-Al. Сплавы этой системы сравнительно легко переходили в аморфное состояние, но кристаллизовались в одну стадию. Для получения многостадийной кристаллизации выбранный сплав дополнительно легировали титаном (2–3 ат.%). Как видно из ДТА кривых (см. рис.), данный сплав кристаллизуется в несколько стадий.

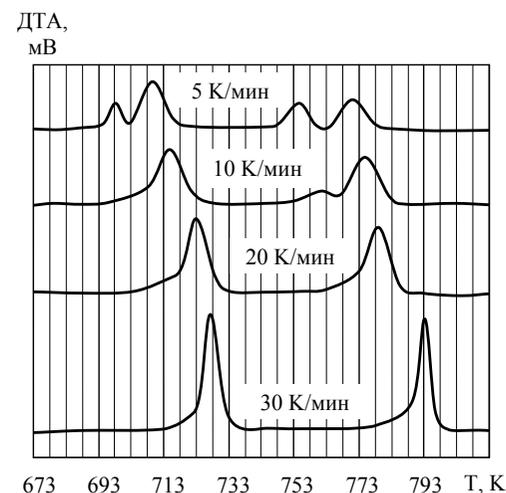


Рисунок 1 - Характерные ДТА-кривые кристаллизации аморфного образца сплава $Zr_{62,9}Cu_{17,7}Ni_{9,7}Al_{7,5}Ti_{2,2}$

Термообработку аморфных образцов из сплава $Zr_{62,9}Cu_{17,7}Ni_{9,7}Al_{7,5}Ti_{2,2}$ проводили с помощью термоанализатора фирмы «SETARAM» при скоростях нагревания 20 К/мин в среде очищенного гелия, время выдержки при заданных температурах составляло 20 мин.

Изучение структуры образцов в зависимости от режимов термической обработки проводили на растровом электронном микроскопе SEM. SUPERPROBE-733 при увеличении 2000–10000 и рентгеноструктурном дифрактометре ДРОН-3М. Исследования показали, что образцы, которые проходили термическую обработку ниже температуры 683 К, оставались аморфными. На дифракционных кривых наблюдались два интенсивных гало, а характеристические пики для кристаллических соединений отсутствовали. Увеличение температуры термообработки до 703 К приводит к появлению в сплавах небольшого количества равномерно расположенных и чуть заметных при увеличении 10000 включений, размер которых существенно меньше 1 мкм. При этом размер гало несколько уменьшился, и

появились слабоинтенсивные характеристические пики фаз Zr_2Ni и Zr_2Cu . Поэтому можно допустить, что именно при этой температуре происходит переход в наноструктурное состояние. Проведение термической обработки в интервале температур между второй и третьей стадиями кристаллизации ($T = 723$ К) позволяет получить композиционный материал, в котором присутствует большое количество равномерно распределенных, хорошо заметных при увеличении 5000 и более включений (частиц). Интенсивность пиков интерметаллических фаз Zr_2Ni и Zr_2Cu на дифракционных кривых увеличилась, и добавился характеристический пик $\alpha-Zr$, размер гало существенно уменьшился. Несмотря на это, матрица этого материала остается аморфной, на что указывает дифференциально-термический анализ образцов после термической обработки, степень аморфности – около 40%.

Из-за небольшого размера полученных образцов физико-механические характеристики определяли по измерению микротвердости на твердомере ПМТ-3.

Исследования показали, что термообработка аморфных сплавов в интервале температур $T_g - T_x$ приводит к существенному увеличению микротвердости. Сопоставление этих данных с результатами структурного анализа показывает, что микротвердость возрастает соответственно увеличению доли кристаллической фазы.

Для получения ДАКМ с аморфной матрицей методом синтеза дисперсных частиц в расплаве использовали сплав $Zr_{65}Al_{7,5}Ni_{10}Cu_{17,5}$, который переходит из аморфного в кристаллическое состояние в одну стадию. Базовый сплав выплавляли в индукционной вакуумной печи ($P = 1,3 \cdot 10^{-2}$ Па), в качестве исходных материалов использовали йодидный цирконий и титан, медь марки М0, катодный никель и алюминий марки А99. После переплава в сплав добавляли от 1 до 3% массовой доли кремния, углерода, бора. Сплавы в объемно-аморфизованном состоянии получали методом вакуумного всасывания. Полученные образцы передавали на рентгеноструктурные и ДТА-исследования.

Установлено, что введение углерода, кремния и бора, с одной стороны, ухудшает способность сплавов на основе циркония к аморфизации (табл. 1), но вместе с тем дает возможность получать частично аморфные материалы, армированные дисперсными частицами карбидов, нитридов, боридов.

Таблица 1 - Влияние металлоидов Si, C, B на количество аморфной фазы в сплаве $Zr_{65}Al_{7,5}Ni_{10}Cu_{17,5}$

Металлоид	Объемная доля аморфной фазы при различном содержании металлоидов, %		
	1%	2%	3%
C	70	30	0
Si	45	5	0
B	95	70	10

Технологические параметры получения аморфных сплавов на основе системы Zr-Cu-Ni-Al-Ti при низких скоростях охлаждения, позволяющих использовать методы литья. Изучены особенности перехода полученных аморфных сплавов в кристаллическое состояние. Показано, что переход из аморфного в кристаллическое состояние для сплава $Zr_{62,9}Cu_{17,7}Ni_{9,7}Al_{7,5}Ti_{2,2}$ имеет диффузионный характер, что позволяет регулировать этот процесс в зависимости от температурно-временных условий нагрева и получить композиционные материалы с различным размером интерметаллических включений. Изучена структура и физико-механические свойства полученных материалов (табл. 2).

Таблица 2 - Зависимость механических свойств аморфного сплава $Zr_{60}Cu_{17,5}Ni_{10}Al_{7,5}Ti_5$ от температуры термообработки

T, К	HV	σ_B , МПа	δ_H	Доля пластической деформации, %	E, ГПа
683	765	2390	0,315	32	83
703	1013	3166	0,296	30	107
723	1389	4341	0,302	30	148
773	1101	3441	0,358	36	116

Установлено, что микротвердость и прочность на разрыв возрастают практически линейно с ростом доли кристаллической фазы. Разработаны технологические режимы получения композиционных материалов с аморфной матрицей, армированные дисперсными частицами карбидов, нитридов, боридов.

УДК 621.789.06

ИЗНОС И ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВ

Гадалов В.Н., Емельянов С.Г., Романенко Д.Н., Розина Т.Н.

Юго-Западный государственный университет, Курск

Рассмотрены особенности истирания, смятия и разгара участков штампов, изучены вопросы оптимизации методов изготовления штампов и химико-термической обработки.

Человек пользуется металлом с глубокой древности. Уже в IV веке, т.е. 1600 лет тому назад, люди знали способ получения высококачественной стали с содержанием углерода от 0,5 до 0,7%. В течение многих лет люди накапливали опыт в ковке, штамповке и прокатке. Ученые, обобщая этот опыт, непрерывно изучали явления, происходящие при течении металла, создавая теорию обработки металлов давлением. В процессе работы штампы подвергаются интенсивному воздействию высоких силовых нагрузок и температур, величины которых имеют переменный характер и вызывают интенсивный износ и потерю их работоспособности.

Основными видами износа являются истирание, смятие и разгар. Они и определяют в основном стойкость штампов [1].

Истирание (рис. 1) – отрыв частичек металла штампа. Наиболее сильное истирание происходит в полостях, заполняемых выдавливанием, особенно в местах входа в полости и в местах перепада сечений. Истиранию подвергается мостик облойной канавки, что часто является причиной выхода штампа из строя. Истирание ускоряется при появлении разгара. При достаточной твердости и чистоте поверхности гравюры износ штампа незначителен.

Смятие (рис. 2) – деформация отдельных участков штампа, где имеют место высокие давления и местный сильный разогрев металла штампа. При этом искажается форма гравюры, в полостях и на выступах образуются поднутрения. Деформация молотовых штампов может проходить в плоскости соударения при перегреве штампов.

Рис. 1. Истирание штампа

Рис. 2. Смятие штампа

Разгар – образование сетки термических трещин на поверхности гравюры. Это наиболее частый вид износа. Для повышения разгаростойкости необходимо тщательно регулировать режим работы штампа или применять более разгароустойчивые штамповые стали.

Кроме этих основных видов износа имеют место налипание и свариваемость деформируемого металла с металлом штампа и другие виды износа.

В нормальных условиях эксплуатации в штампах имеют место три стадии износа: приработка (быстрый износ ручья), установившийся (медленный) износ и прогрессирующий износ (штамп быстро выходит из строя).

С учетом необходимости сопротивления штампов микро- и макроразрушению в указанных условиях к свойствам штамповых материалов предъявляется ряд специальных требований, выполнение которых определяет место их эффективного применения для штампов.

Рассмотрим основные требования к штамповым материалам.

Инструментальный штамповый материал, в первую очередь, должен иметь высокую твердость, которая должна быть выше твердости обраба-

тываемого не менее чем в 1,5 раза. Поскольку при штамповке выделяется значительное количество теплоты и ударная часть штампов нагревается, инструментальный материал должен обладать высокой теплостойкостью, т.е. сохранять высокую твердость при высоких температурах. Важным требованием является достаточно высокая прочность штампового материала. Если высокая твердость материала рабочей части штампа не обеспечивается необходимой прочностью, то это приводит к разрушению штампа и выкрошиванию кромок.

Таким образом, инструментальный материал должен иметь достаточный уровень ударной вязкости и сопротивляться появлению трещин (т.е. иметь высокую трещиностойкость).

Штамповый материал должен иметь высокую износостойкость при повышенной температуре, т.е. обладать хорошей сопротивляемостью истиранию обрабатываемым материалом, которая проявляется в сопротивлении материала контактной усталости [2].

Необходимым условием достижения высоких штамповых свойств является низкая физико-химическая активность штампового материала по отношению к обрабатываемому. Поэтому кристаллохимические свойства инструментального материала должны существенно отличаться от соответствующих свойств обрабатываемого материала.

Штамповый материал должен обладать технологическими свойствами, обеспечивающими оптимальные условия изготовления из него штампов. Для штамповых сталей ими являются:

- хорошая обрабатываемость резанием и давлением;
- благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву, хорошие закаливается и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т.д.);
- хорошая шлифуемость после термической обработки [3].

Твердость и прочность штамповых материалов – это свойства-антагонисты, т.е. чем выше твердость материала, тем ниже его прочность. Поэтому набор основных свойств и определяет область и условие рационального использования штампового материала.

Для повышения стойкости штампов необходимы:

- применение оптимальных для данных условий деформации тепло- и износостойких штамповых сталей;
- применение прогрессивных методов изготовления штампов и химико-термической обработки, оптимальной с точки зрения стойкости конструкции штампа, сменных вставок для наиболее изнашиваемых частей;
- эксплуатация штампов на оптимальных режимах, обеспечивающих необходимую температуру штампа, и установление тщательного учета стойкости штампов с обязательным выяснением причин поломок, малой и высокой стойкости штампов.

Повышение стойкости штампов является одним из средств ускорения научно-технического прогресса, что ведёт к созданию принципиально но-

вых орудий труда, инновационных технологий и материалов, технологических процессов, превосходящих по своим технико-экономическим показателям лучшие отечественные и мировые достижения.

Список литературы

1. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка материалов в машиностроении: справочник. М.: Машиностроение, 2002. 246 с.
2. Ковка и штамповка: справочник / Е.И. Семёнов [и др.]. М: Машиностроение, 1986. 592 с.
3. Справочник конструктора штампов / под общ. ред. Л.И. Рудмана. М: Машиностроение, 1998. 496 с.

УДК 621.793

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ**

Ляхов А.В.¹, Ляхов В.И.¹, Новиков С.Г.²

¹*Юго-Западный государственный университет, Курск*

²*Курский институт социального образования (филиал) Российского государственного социального университета*

Исследованы механические свойства вакуумных конденсатов на основе жаро- и коррозионно-стойких сплавов типа Me-Cr-Al-Y.

Алюминий, имея большое несоответствие параметра кристаллической решетки с параметром решетки твердых растворов Ni-Cr, в ограниченных количествах (до 4 ат. %) заметно упрочняет сплавы Ni-Cr-Al при нормальной и высокой (900°C) температурах [1]. По мере увеличения содержания алюминия в конденсате Ni-Cr возрастает микротвердость и уменьшается плотность материала. Отжиг в вакууме при (1050...1080)°C (2 ч) снижает микротвердость конденсатов, при этом плотность практически не изменяется. Изменение механических свойств конденсата Ni – 23% Cr-Al с градиентом распределения алюминия вдоль подложки наблюдается близкая к линейной зависимость пределов текучести, прочности и твердости нихрома при введении в него алюминия.

Максимум пластичности отожженных конденсатов наблюдается в области концентраций, соответствующих предельной растворимости алюминия в твердом растворе Ni-Cr. При нормальной температуре пластичность снижается, когда содержание алюминия превышает 2,5%. Дальнейшее увеличение концентрации алюминия вызывает выделение фазы γ' -Ni₃Al, следствием чего является резкое повышение прочности и снижение пластичности металла, особенно при 850°C.

Частичная (или полная) замена никеля кобальтом вызывает определенные изменения в характере механических свойств конденсатов Ni-Cr-Al-Y, особенно при высоких температурах.

Конденсаты Ni-Co-Cr-Al-Y с 15–25% Co и (4...5)% Al имеют более высокую прочность и ограниченную пластичность по сравнению с конденсатами Co-Ni-Cr-Al-Y ((45...60)% Co, (30...15)% Ni, (4...5)% Al). Такая зависимость механических свойств от химического состава связана с наличием γ' -фазы в богатых никелем конденсатах и ее отсутствием в конденсатах на кобальтовой основе.

При 850°C кобальт в конденсатах Ni-Co-Cr-Al-Y приводит к закономерному снижению прочности и увеличению пластичности.

Знание механических свойств конденсатов жаростойких сплавов облегчает прогноз работоспособности покрытий, полученных испарением этих же сплавов. Конденсаты, сверхпластичные при высоких температурах, но имеющие ограниченную пластичность при 20°C, использовать в качестве защитных покрытий нецелесообразно из-за их неудовлетворительного сопротивления термической усталости в жестких температурно-силовых условиях эксплуатации. По сравнению с покрытиями Co-Cr-Al-Y осаждаемые в вакууме покрытия Ni-Cr-Al-Y более пластичны. В интервале (20...680)°C никелевое покрытие способно деформироваться на величину до 1%, прежде чем в нем возникнет трещина. При более высоких температурах пластичность покрытий резко возрастает. Существует область оптимальных концентраций кобальта в сплавах Ni-Cr-Al-Y, когда эти сплавы и, соответственно, их вакуумные конденсаты имеют повышенную низкотемпературную пластичность.

Поскольку технологичность конденсатов сплавов Me-Cr-Al-Y с высоким содержанием алюминия крайне низкая, информация о механических свойствах непосредственно жаростойких покрытий ограничена.

При температурах выше 550°C наблюдается быстрое снижение предела текучести конденсата, способность выдерживать упругую деформацию падает, пластическое течение (ползучесть) в конденсате происходит при крайне низких напряжениях. Это указывает на то, что при работе деталей, имеющих покрытие Ni-Co-Cr-Al-Y, релаксация напряжений и переход покрытий в равновесное состояние происходят при нулевой упругой деформации. При (700...900)°C предел текучести чувствителен к скорости нагружения, в связи с чем релаксация напряжений в таких покрытиях может быть затруднена при термосменах, вызывающих быстрое нарастание пластической деформации.

Выносливость образцов зависит от толщины осажденного слоя. При высоких напряжениях ((300...320) МПа) массивное покрытие Ni-Co-Cr-Al-Y обладает пониженным сопротивлением распространению усталостной трещины. В условиях изгиба толстое покрытие получает на поверхности максимальные растягивающие деформации, которые приводят к ускоренному разрушению защищаемого металла. В меньшей степени склонность к преждевременному разрушению толстых покрытий выражена при напряжениях (240...250) МПа.

Из сказанного выше следует, что наибольшей долговечностью будет обладать сплав с относительно пластичными вакуумными покрытиями на основе никеля (Ni-Cr-Al-Y) и никеля и кобальта (Ni-Co-Cr-Al-Y).

Список литературы

1. Гард Р.У. Легирование и сопротивление ползучести // Механические свойства материалов при повышенных температурах. М.: Металлургия, 1965. С. 160–168.

УДК 621.794

КОМБИНИРОВАНИЕ МИКРОПЛАЗМОИСКРОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОРАЗРЯДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНО- КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОБЪЕКТАХ ИЗ ВЕНТИЛЬНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Чигринова Н.М., Чигринов В.В.

Институт порошковой металлургии, Минск, Беларусь

Рассмотрен один из наиболее перспективных и современных технологий повышения уровня рабочих свойств стандартных изделий – метод микродугового оксидирования (МДО), важным преимуществом которого является диффузионная природа оксидно-керамических слоев, гарантирующая высокие адгезионные свойства в получаемой композиции.

Метод АМДО весьма перспективен для продления рабочего ресурса объектов различного назначения, но только тогда, когда речь идет о новых, не бывших в эксплуатации деталей из вентильных металлов либо когда изделие изношено равномерно по всей поверхности и величина износа не превышает возможных при этой обработке толщин покрытий. В случае, когда требуется улучшить эксплуатационные характеристики с одновременным восстановлением геометрии и размеров неравномерно изношенной детали, данный метод неприменим. Еще одним фактором, ограничивающим распространение этой перспективной технологии, является невозможность создания качественных покрытий на поверхности объектов, изготовленных из невентильных металлов.

Идея расширения области применения метода МДО как ремонтной операции решается за счет создания на неравномерно изношенных поверхностях из вентильных металлов вентильного подслоя, который будет выполнять функции восстанавливающего покрытия требуемой конфигурации и типоразмеров, с его последующим оксидированием. Проблема создания функциональных оксидно-керамических покрытий на **черных металлах и сплавах** может быть решена путем комбинации метода создания промежуточного вентильного подслоя на подложке из черного металла и метода АМДО для формирования оксидной керамики.

Оптимизация приемов создания композиционного материала «*подложка-вентильный подслоя-оксидная керамика*» базируется на соответствии полученного вентильного слоя критериям качества и назначения.

Создаваемый вентильный подслоя должен:

- иметь химическое сродство с материалом подложки для обеспечения необходимой адгезии;
- не разупрочнять материал подложки и не вносить в него дополнительные напряжения;
- иметь необходимую и достаточную толщину;
- содержать минимальное количество мелких, несквозных пор;
- не содержать механических и структурных дефектов;
- не скалываться, не вспучиваться, не отслаиваться при последующей АМДО;
- быть надежным, технологичным и экономически выгодным, экологически безопасным.

Одним из наиболее перспективных методов создания вентильного подслоя является разработанная авторами интегральная технология микроплазменно-искрового легирования с ультразвуковым модифицированием (МПИЛ+УЗМ). Известно, что энергия разряда и его длительность – диапазон энергосиловых параметров при МПИЛ, состав материала анода и катода, вид движения анода – схемы обработки существенно влияют на структуру и свойства создаваемых слоев, и их изменение обуславливает тепло- и массоперенос при взаимодействии подложки и легирующего электрода. Полученная комбинация структурных и прочностных параметров подслоя является основой для создания работоспособного оксидно-керамического покрытия в процессе последующей микродуговой обработки.

Поскольку вентильный подслоя с учетом его последующего микродугового оксидирования должен иметь необходимую и достаточную толщину, изучались особенности массопереноса, определяемые эрозией анода (легирующего электрода) и деэрозией катода (обрабатываемой подложки) при МПИЛ-обработке в зависимости от схем и возможных режимов: схема 1 – стандартное электроискровое легирование (МПИЛ) и схема 2 – микроплазменно-искровое легирование с ультразвуковым модифицированием (МПИЛ + УЗМ). Величины удельной эрозии анода Δ^a и удельного привеса катода Δ^k через каждую минуту обработки проводили гравиметрическим методом. По их значениям рассчитывали суммарную эрозию анода $\Sigma\Delta^a$ и суммарный привес катода $\Sigma\Delta^k$. Коэффициент переноса материала рассчитывали по формуле $K = \Delta^k / \Delta^a$ при $t = \text{const}$. Затем графически определяли t_x – порог хрупкого разрушения поверхностного слоя, то есть время, которому соответствует первое отрицательное значение Δ^k или максимальное значение $\Sigma\Delta^k$.

Эффективность процесса образования покрытия рассчитывали как

$$\gamma_{ек} = \bar{K}t_x \sum_{t=0}^{t_x} \Delta t^k,$$

где K – усредненный коэффициент переноса материала за период времени t_x .

На рис. 1 приведены зависимости изменения во времени массы анода при различных энергетических параметрах микроплазменского легирования, имеющие во всем диапазоне режимов линейный характер. Фиксация изменения массы катода (обрабатываемой детали) показала, что сначала (до $t \leq t_x$) отмечается нелинейное повышение массы, а затем (при $t > t_x$) ее непрерывное уменьшение (рис. 2).

В процессе проводимого эксперимента было установлено, что наиболее активное воздействие на интенсивность эрозии электрода, а значит, и на скорость нарастания толщины формируемого слоя оказывает вид движения анода – схема обработки (см. рис. 1).

Из приведенных графиков видно, что потеря массы при изменяющихся параметрах МПИЛ-обработки (схема 1) происходит по линейному закону (см. рис. 1, а). При этом смена режимов легирования с жесткого (гр. 1) на мягкий (гр. 5), различающихся энергосиловыми параметрами процесса, вызывает уменьшение потери массы от 2,5 до 5,8 раза. Самые большие изменения в скорость эрозии анода и интенсивность массопереноса вносит ультразвуковое модифицирование созданного покрытия. Как видно из рис. 1, б, обработка по схеме 2 – МПИЛ+УЗМ весьма существенно снижает скорость эрозии электрода. Причем, чем при более высоких значениях напряжения и тока формировался слой при МПИЛ, тем сильнее влияние последующего УЗ-модифицирования. Так, максимальная потеря массы в выбранном временном промежутке на режиме $U = 96 \text{ В}$, $I = 0,6 \text{ А}$ при ЭИЛ-обработке составила $0,04 \text{ г}$, а при комбинированном микролегировании по схеме МПИЛ + УЗМ – $0,0025 \text{ г}$, т.е. уменьшилась в 16 раз. В то же время проведение процесса МПИЛ на режиме $U = 67 \text{ В}$, $I = 0,4 \text{ А}$ обеспечило потерю массы электрода в $0,015 \text{ г}$, а обработка по комбинированной схеме привела к снижению данного параметра до $0,0045 \text{ г}$, т.е. произошло уменьшение скорости эрозии электрода в 3,5 раза.

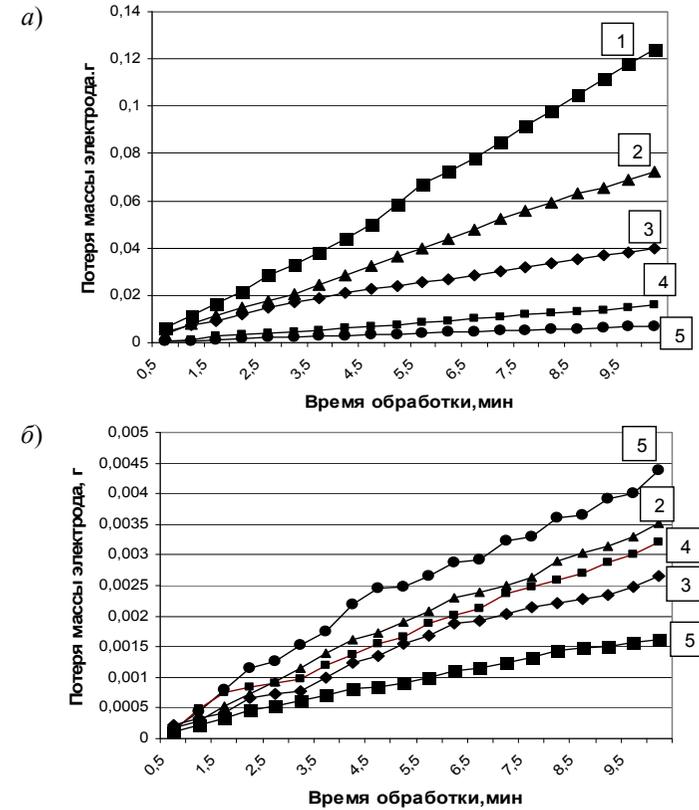


Рисунок 1 - Влияние схемы обработки и энергетических параметров МПИЛ + УЗМ-обработки на величину эрозии электрода: а – схема МПИЛ; б – схема МПИЛ + УЗМ



Рисунок 2 - Влияние схемы обработки и энергетических параметров микроплазменского легирования на дезерозию катода

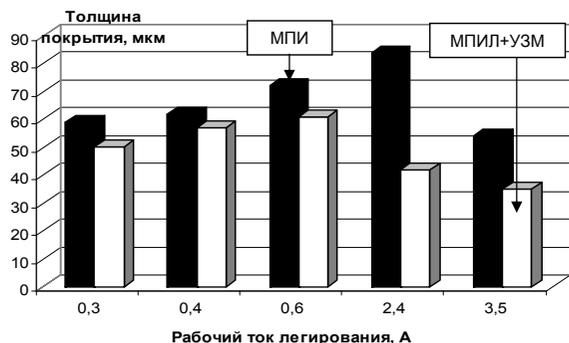


Рисунок 3 - Влияние схем и режимов микроплазменной обработки на толщину формируемых покрытий

Характер изменения привеса катода при МПИЛ-обработке не линеен и, начиная с величины тока 1.7 А, наблюдается достаточно резкое снижение данного параметра (см. рис. 2), т.е. рост покрытия прекращается (рис. 3).

Анализ величины привеса катода при комбинированной обработке показывает, что процесс нарастания толщины прекращается при более низких значениях тока, а начиная со значений тока в 2,4 А, происходит сьем части покрытия.

Объяснение ограниченности толщины формируемого при МПИЛ-обработке покрытия содержится в многократности взаимодействия искровых разрядов, приводя к электронной природе эффекта схватывания. Это обуславливает закономерное влияние его на эрозию электрода, основными причинами чего являются накопление внутренних напряжений, в том числе за счёт образования в покрытиях новых фаз с различными коэффициентами термического расширения, уменьшение термоусталости покрытия в условиях многократных циклов нагрева и охлаждения его микрообъёмов (оба фактора взаимосвязаны и дополняют друг друга), образование ультрадисперсной структуры.

Меньшие потери массы анода при УЗМ-обработке покрытия, полученного в процессе МПИЛ на более высоких токах и напряжениях, обусловлены следующими причинами. Из представленной на рис. 4 схемы видно, что слой, сформированный на жестком режиме МПИЛ (рис. 4, а), имеет значительно более выраженный микрорельеф, чем покрытие, созданное при более низких значениях энергетических параметров (рис. 4, б).

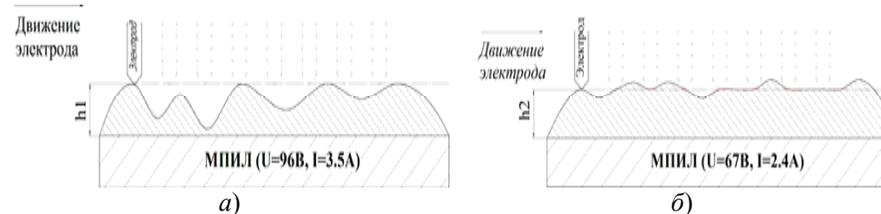


Рисунок 4 - Схематическое изображение циклов «касание-отрыв» при УЗМ-обработке покрытий с различным микрорельефом: а – схема МПИЛ; б – схема МПИЛ+УЗМ

Известно, что перенос материала анода на катод осуществляется в момент его отрыва от поверхности катода. При последовательном перемещении электрода по полученному вентильному слою в процессе УЗ-обработки, осуществляемой на одинаковом режиме для обоих исследуемых случаев, количество циклов «касание-отрыв», определяющих массоперенос и нарастание слоя, на более гладкой поверхности будет больше.

Сделанный вывод подтверждается микроструктурой сформированного вентильного подслоя на алюминиевой и стальной подложках в указанном диапазоне (рис. 5).

а) б)

Рисунок 5 - Микроструктура и топография вентильного подслоя, полученного по схеме МПИЛ (а) и МПИЛ+УЗМ (б)

Вывод

Для восстановления изношенного вентильного катода вентильным анодом следует использовать схему ЭИЛ, обеспечивающую получение толстых покрытий. При этом для увеличения производительности процесса ЭИЛ целесообразно вести на жестких режимах, поскольку создаваемый вентильный слой будет иметь более развитый микрорельеф. Это обеспечит при его микродуговом оксидировании появление множества дополнительных центров кристаллизации, приводя к интенсификации роста оксидной фазы с гарантированной адгезией.

Для создания буферного вентильного подслоя на стальной подложке, имеющей различные физико-механические характеристики с вентильным металлом, требуется применять схему МПИЛ+УЗМ, поскольку в этом случае необходимо выровнять градиент напряжений в создаваемой композиции. При этом, согласно полученным графикам, обработку следует

вести в диапазоне параметров: $45 < U < 67$ В и $0,3 < I < 1,7$ А. Это является весьма важным обстоятельством, т.к. позволяет получить структуру поверхности без растрескивания и прочих механических дефектов, присутствующих в структуре образца, полученного на жестком режиме.

УДК 621.793

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ

Кортаев Д.М.¹, Гадалов В.Н.², Скрипкина Ю.В.², Розина Т.Н.²

¹Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск

²Юго-Западный государственный университет, Курск

В работе рассмотрены некоторые термодинамические аспекты модели формирования электроискрового покрытия.

Сущность метода электроискрового легирования (ЭИЛ) заключается в том, что при искровом разряде в газовой среде происходит преимущественно эрозия материала анода и перенос продуктов эрозии на катод, на поверхности которого образуется слой измененной структуры и состава за счет как транспорта материала, так и действия импульсных тепловых и механических нагрузок, возникающих при искровом разряде [1–3].

Электрический разряд с физической точки зрения образует концентрированный поток электронов, плотность мощности которого достигает ($10^7 \dots 10^{12}$) Вт/см².

Феноменологическая модель процесса взаимодействия электронного потока с металлами и образования эрозионных частиц представлена на рис. 1.

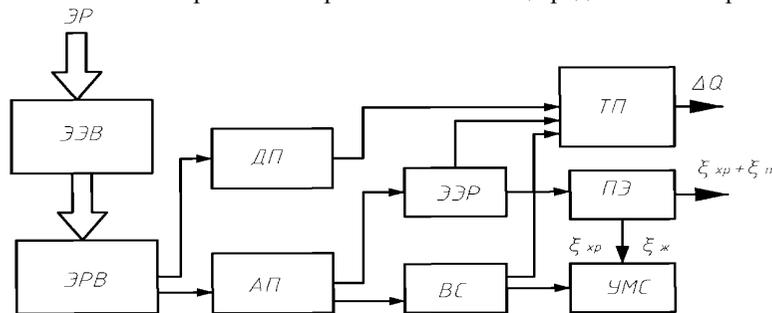


Рисунок 1 - Феноменологическая модель электроэрозионного процесса: ЭР – электрический разряд; ЭЭВ – электрон-электронное взаимодействие; ЭРВ – электронно-решеточное взаимодействие; ДП – диссипативные процессы; АП – активационные процессы; ЭЭР – электроэрозионное разрушение; ВС – вторичные структуры; ТП – тепловой поток; ПЭ – продукты эрозии; УМС – упрочненные модифицированные структуры; ξ_{xp} – доля хрупких частиц эрозии; $\xi_{ж}$ – доля жидкокапельных частиц эрозии; $\xi_{п}$ – доля пароплазменных частиц эрозии

Высокая плотность мощности искрового разряда и малая продолжительность периода его активного взаимодействия с материалом не позволяют за столь короткий промежуток времени сформироваться полноценным тепловым диссипативным каналом, поэтому возникающая дисбалансная доля энергетического воздействия реализуется в виде работы эрозионного поверхностного разрушения, скорость которого можно оценить из уравнения

$$\frac{dM}{dt} \approx \frac{1}{a_s} \cdot \frac{d}{dt} \left[E_A - \lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right], \quad (1)$$

где $\frac{dM}{dt}$ – массовая скорость эрозионного разрушения;

a_s – удельная работа эрозионного разрушения;

$\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности;

E_A – энергия электрического разряда;

$\frac{\partial T}{\partial n}$ – градиент температуры.

На рис. 2 приведены зависимости плотности мощности искрового разряда (кривая 1), плотности теплового диссипативного процесса (кривая 2) и плотности потока энергетических затрат на эрозионное разрушение (зона 3 и кривая 4). Плотность мощности единичного искрового разряда достигает максимума в конце начального активного периода t_a , а затем падает до нуля по истечении времени t_n .

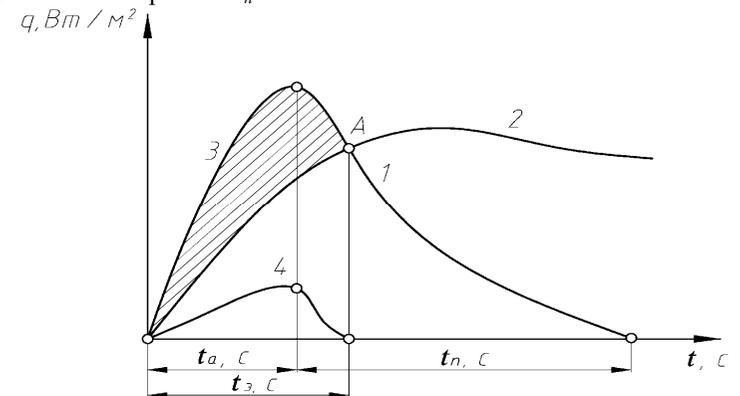


Рисунок 2 - Зависимости плотности мощности искрового разряда, плотности теплового диссипативного процесса и плотности потока энергетических затрат на эрозионное разрушение

В точке А достигается баланс между энергетическим потоком и отводимым тепловым оттоком. Следовательно, эрозионный процесс может протекать только в период времени от нуля до t_3 , когда активность диссипа-

тивного теплового оттока не в состоянии сбалансировать подводимую энергию искрового разряда.

Суммарные энергетические затраты на эрозионное разрушение материала при единичном искровом разряде будет определяться площадью заштрихованной зоны 3, а временная зависимость плотности мощности энергетических затрат на эрозионное разрушение может быть представлена кривой 4 как разница ординат кривой 1 и 2 во временном диапазоне от 0 до t_3 .

Таким образом, для интенсификации эрозии необходимо создание условий для большего временного рассогласования между подводимой электрической энергией искрового разряда и развитием диссипативного канала.

Массовая скорость эрозионного разрушения $\frac{dM}{dt}$ зависит от удельной работы эрозии a_3 (см. формулу (1)), которая определяется составом анодного массового потока.

Электрическая эрозия представляет комплексный процесс разрушения, включающий хрупкое микровыврошивание за счет термических напряжений, превышающих предел прочности материала, оплавление и взрывообразный разлет жидкофазного материала, сопровождающийся испарением и ионизацией.

В предположении аддитивного влияния этих процессов удельную работу электроэрозионного разрушения можно представить следующей суммой:

$$a_3 = \xi_{xp} a_{xp} + \xi_{ж} a_{ж} + \xi_{п} a_{п}, \quad (2)$$

где a_{xp} – удельная работа образования хрупких (твердофазных) частиц разрушения;

$a_{ж}$ – удельная работа образования жидкокапельных частиц разрушения;

$a_{п}$ – удельная работа образования пароплазменных фрагментов разрушения;

ξ_i – массовая концентрация твердофазных, жидкокапельных и пароплазменных фрагментов эрозионного разрушения ($\xi_{xp} + \xi_{ж} + \xi_{п} = 1$).

На основании анализа продуктов разрушения можно предположить, что электроискровая обработка осуществляется путем выброса расплавленного металла и его диспергирования в жидкофазном состоянии.

Тогда удельные энергетические затраты на разрушение материала можно оценить по формуле

$$a_3 = (c \cdot \Delta T_{пл} + \gamma_{ж} \frac{\sum F_{жи}}{V_{жи}}) \xi_{ж}, \quad (3)$$

где c – удельная теплоемкость материала;

$\gamma_{ж}$ – удельная поверхностная энергия жидкофазного состояния разрушаемого материала;

$\sum F_{жи}$ – суммарная площадь поверхностей всех микрокапель эрозионного потока;

$V_{ж}$ – объем жидкофазной массы эрозионного потока;

$\xi_{ж}$ – массовая концентрация жидкокапельных фрагментов эрозионного разрушения.

Список литературы

1. Николаенко С.В., Верхотуров А.Д. Новые электродные материалы для электроискрового легирования. Владивосток: Дальнаука, 2005. 219 с.
2. Машков Ю.К., Коротаев Д.Н., Казанцева А.В. Сущность метода электроискрового легирования // Омский научный вестник. 2007. №2 (58). С. 94–95.
3. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М.: ИНФРА-М, 2011. 468 с.

УДК 621.791.92

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ДУГАМИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПП АН-170
Гадалов В.Н.¹, Бредихина О.А.¹, Ковалев С.В.², Тураева О.А.¹, Абакумов А.В.¹

¹Юго-Западный государственный университет, Курск

²Курская государственная сельскохозяйственная академия

Предложены технологические рекомендации технологии объемного упрочнения плазменной дугой, полученные с использованием аппарата теории планирования многофакторных экспериментов.

Наплавка износостойких сплавов является эффективным средством повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей машин. При этом объем наплавленного износостойкого металла должен соответствовать объему изношенного в процессе эксплуатации металла. При больших порядках (10...30) мм значениях величин износа применение поверхностной наплавки малоэффективно. Попытка увеличения объема износостойкого металла за счет роста толщины наплавленного слоя ведет к резкому увеличению вероятности хрупкого разрушения наплавленного слоя и падению несущей способности наплавливаемых деталей.

Применение принципа построения комбинированных наплавленных покрытий, основанного на разбиении общего объема хрупкого металла на отдельные участки, изолированные друг от друга прослойками вязкого металла, позволяет увеличить объем наплавленного металла при сохранении приемлемого уровня несущей способности. Это возможно при использовании технологии [1] объемного упрочнения плазменной и вспомогательной дугами (УПВД).

Данная технология заключается в проплавлении основного металла на заданную до 25 мм глубину плазменной дугой. Ванна расплавленного металла легируется путем подачи в хвостовую часть порошковой проволоки. После кристаллизации образуются износостойкие валики, форма поперечного сечения которых соответствует зоне проплавления (рис. 1).

Рисунок 1 - Макрошлиф упрочняющих валиков, полученных УПВД

Особенностью технологии УПВД является существенное изменение свойств наплавленного металла при изменении глубины проплавления. При наплавке с применением порошковой проволоки ПП АН-170 при росте глубины проплавления от 5 до 20 мм микроструктура меняется от заэвтектической с первичными карбоборидами (рис. 2, а) к доэвтектической с различным количеством первичного аустенита (рис. 2, б и в). Возникает противоречие между стремлением увеличить глубину проплавления, а следовательно, и объем износостойкого металла, и падением его сопротивляемости абразивному изнашиванию. Следует также учитывать, что ударостойкость доэвтектического наплавленного металла выше.

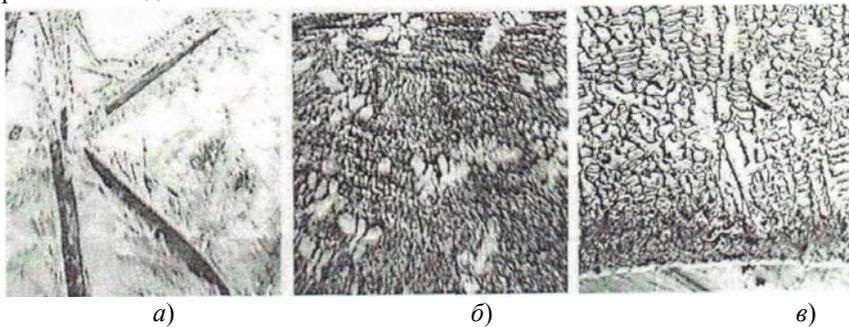


Рисунок 2 - Микроструктура металла, полученного УПВД ($\times 200$):
а – глубина проплавления 5 мм; б – (6...12) мм; в – 20 мм

Для разрешения указанного противоречия была поставлена задача на выработку технологических рекомендаций по выбору параметров режима УПВД путем обработки данных многофакторного эксперимента. В качестве основных зависимых переменных, которые используются на практике в качестве исходных данных при выборе параметров режима, были приняты глубина h и ширина b зоны проплавления и относительные износостойкости при абразивном (ϵ_a) и абразивном с ударными нагрузками (ϵ_y) изнашивании. Величины (ϵ_a) и (ϵ_y) определялись путем испытаний наплавленного металла на стенде «Ротор» по методике [2].

В таблице 1 приведены постоянные параметры режима процесса УПВД, а в таблице 2 – переменные факторы. Состав плазмообразующего газа выбран исходя из требований экономичности, оптимального преобразования электрической энергии в тепловую и дополнительного легирования наплавленного металла азотом.

Таблица 1 - Постоянные параметры режима УПВД

Параметр	Значение
Диаметр канала сопла	5,2 мм
Высота канала сопла	4,0 мм
Расстояние среза сопла от изделия	20 мм
Состав плазмообразующего газа	CO ₂ + N ₂
Расход плазмообразующего газа	1,0 м ³ /ч
Расстояние между вспомогательной и плазменной дугами	35 мм

Таблица 2 - Уровни варьирования переменных факторов

Наименование фактора	Ед. изм.	Код	Уровни варьирования		
			200	250	300
Ток плазменной дуги ($I_{п}$)	А	x_1	200	250	300
Скорость упрочнения ($V_{н}$)	м/ч	x_2	12	16	20
Объемная концентрация углекислого газа (X_{CO_2})	%	x_3	0	20	40
Напряжение на вспомогательной дуге ($V_{н}$)	В	x_4	20	24	28
Скорость подачи проволоки ($V_{под}$)	м/ч	x_5	250	300	350

Для получения полиномиальной квадратичной модели для k факторов вида

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i \quad (1)$$

был реализован план Хартли, состоящий из полуреплики плана 2^{5-1} точек в центрах граней гиперкуба и четырех опытов в центре.

Расчет коэффициентов уравнения (1) производился с использованием аппарата матричного исчисления по формуле, приведенной в [3]:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (2)$$

где B – матрица-столбец искомых коэффициентов уравнения (1), ее размерность равна числу коэффициентов;

Y – матрица-столбец результатов опытов, ее размерность равна числу опытов N ;

X – прямоугольная матрица условий эксперимента (число строк равно числу опытов N , число столбцов – числу коэффициентов модели); составляется из матрицы эксперимента, в которую добавляются столбцы с квадратами факторов и со всеми комбинациями произведений двух факторов;

X^T – транспонированная матрица X ;

$(X^T X)^{-1}$ – матрица, обратная информационной матрице (матрице Фишера) эксперимента $X^T X$.

Применение аппарата матричного исчисления позволяет допустить отклонения от номинальных значений факторов во время опытов.

После обработки данных эксперимента и отсева статистически незначимых коэффициентов были получены следующие полиномиальные математические модели:

$$\begin{aligned} h &= 17,0 + 2,78 X_1 - 1,69 X_2 - 0,92 X_1 X_2 + 3,81 X_3 - 1,75 X_3^2; \\ b &= 20,47 + 2,2 X_1 - 2,15 X_2 - 0,55 + 2,79 X_4 - 0,89 - 1,23 X_1 X_2; \\ \epsilon_a &= 2,47 - 0,118 X_1 - 0,12 X_4 + 0,48 X_5 - 0,18 X_3 X_5 - 0,18 - 0,13 X_3^2; \\ \epsilon_y &= 1,62 - 0,083 X_1 X_2 + 0,105 X_3 - 0,233 X_3^2 - 0,085 X_5 - 0,118 X_3^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Анализ зависимостей (3) показал, что глубина проплавления целиком определяется параметрами плазменной дуги, причем наибольшее влияние оказывает X_{Co_2} . Малые добавки углекислого газа резко увеличивают h , в дальнейшем влияние X_{Co_2} падает. На ширину валиков помимо параметров плазменной дуги существенное влияние оказывает напряжение на вспомогательной дуге.

На величины ϵ_a и ϵ_y доминирующее влияние оказывают X_{Co_2} и $V_{под}$, однако их воздействие неоднозначно при разных режимах абразивного изнашивания. При абразивном изнашивании с незначительными ударами с ростом $V_{под}$, когда структура меняется от резко доэвтектической (см. рис. 2, в) до приближенной к эвтектической (рис. 2, б), износостойкость однозначно растет. При малых значениях $V_{под}$, когда наплавленный металл сильно разбавлен, весьма эффективно увеличение величины X_{Co_2} , т.к. в этом случае растет концентрация азота и, как следствие, количество тонко дисперсных нитридов в аустените.

При ужесточении режима изнашивания, когда большое значение имеет стойкость к хрупкому разрушению, происходит перестановка в ряду износостойкости по сравнению с ϵ_a . Анализ зависимости (3) показал, что оптимальная величина $V_{под}$ составляет 230 м/ч, дальнейшее ее увеличение резко ведет к потере износостойкости. Существенно влияние оказывает величина X_{Co_2} .

Металлографический анализ наиболее износостойких в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками образцов показал, что они имеют умеренно доэвтектическую структуру. Для них свойственно максимальное (0,16...0,19)% содержание азота. За счет образования в дендритах аустенита тонкодисперсных нитридов растет микротвердость твердого раствора с сохранением высокой ударостойкости.

Полученные в результате интерполяционного многофакторного эксперимента модели использовались для построения ромбоидальных технологических номограмм (рис. 3 и 4), позволяющих оперативно рассчитать параметры режима УПВД для заданной h максимально возможной величины ϵ_a или ϵ_y .

Рисунок 3 - Технологическая номограмма для абразивного изнашивания

Рисунок 4 - Технологическая номограмма для абразивного изнашивания с ударами

Список литературы

1. Vorotnikov V.Y., Artemenko Y.A., Ivanov S.V. Preventing defects in forced conditions of hardening with a plasma arc // Welding international. 1999. Vol. 13, № 9. P. 740-741.
2. Гринберг Н.А., Петров И.В., Никаноров М.И. Методика исследования стойкости наплавленного металла против ударно-абразивного изнашивания // Сварочное производство. 1977. №7. С. 24–27.
3. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии машиностроения методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304с.

УДК 621.

**ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
НАНЕСЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ
ПОКРЫТИЙ, ИХ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА**

*Гадалов В.Н.¹, Бредихина О.А.¹, Тураева О.А.¹,
Ковалев С.В.², Шокурова Н.А.¹*

¹Юго-Западный государственный университет, Курск

²Курская государственная сельскохозяйственная академия

Изучены вопросы оптимизации технологического процесса нанесения экологических электроакустических покрытий, а также их структура и свойства.

Электроакустическое нанесение покрытий (ЭЛАН) находит широкое применение для локального восстановления деталей и узлов специального назначения из литых жаропрочных сложнолегированных сплавов на никелевой основе [1].

Выявление резервов электрофизических способов обработки поверхности инструментальных и штамповых материалов и устранение недостатков

ЭЛАН является востребованной в различных отраслях машиностроения [2, 3].

В последнее время для восстановления штампов горячего деформирования, изготовленных из жаропрочных сплавов типа ЖС, используются электрофизические способы обработки, в частности электроакустическое нанесение покрытий.

Нами была проведена оптимизация процесса ЭЛАН по эрозии электрода методом математического планирования эксперимента с использованием ЛПт-последовательностей.

Было построено поле экспериментального исследования с равномерно распределенными по всем параметрам x_1, x_2, \dots, x_n узлами, т.е. среди полученных узлов (координат планируемых экспериментов) нет ни одной пары с совпадающими параметрами $x_i, j = (\overline{1, n})$. Равномерно распределенная в произвольном n -мерном параллелепипеде (П) по сторонам, параллельным координатным граням, считается последовательность:

$$S_M(\Pi) = P_{1, \dots, P_i, \dots} (1 < j < N),$$

для которой выполняется условие

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{S_n(\Pi)}{N} = V_n,$$

где V_n – объем параллелепипеда (П).

Наилучшими характеристиками равномерности среди всех известных в настоящее время обладают ЛПт-последовательности. Последовательность точек $P_1, \dots, P_i \dots n$ -мерного куба называется ЛПт-последовательностью, если любой ее двоичный участок, содержащий не менее 2^{t+1} точек, представляет собой P_t -сетку.

P_t -сеткой называется сетка, состоящая из $N = 2^V$ точек n -мерного куба, если любому двоичному параллелепипеду (П) с объемом $V_{Пк} = 2^t \tau / N$ принадлежат 2^t точек сетки ($V > \tau$) [5].

ЛПт-последовательности были использованы для планирования серии из 15 экспериментов при изучении влияния емкости разряда (С), напряжения (U), частоты следования импульсов (f), удельного времени обработки (τ) на коэффициент переноса массы электродного материала. Благодаря данной методике, использованной при планировании поля экспериментального исследования, удалось существенно сократить дальнейшие исследования для получения режима процесса ЭЛАН, оптимального с точки зрения максимальной эрозии электродного материала ($C = 30$ мкФ, $U = 50$ В, $\tau = 90$ с/см², $f = 1,37$ кГц) – режим I. Далее нами проведена коррекция этого режима с учетом адгезионной прочности и жаростойкости, которые существенно определяют свойства композита в целом.

Эксплуатационные характеристики, адгезионная прочность и жаростойкость были выбраны вероятно статическим методом планирования экстре-

мальных экспериментов путем парных сравнений при априорном ранжировании.

В связи с тем, что технология ЭЛАН является многофакторным процессом, для выбора основных факторов, влияющих на адгезионную прочность и жаростойкость, также использовали метод априорного ранжирования посредством анкетирования пяти специалистов. Каждому фактору соответствовал свой ранг опроса. По результатам анкетирования получены две таблицы.

Важность факторов во второй таблице оценивалась видом «связанных рангов». Итоговая ранжировка факторов проверялась сравнением таблиц, которая подтвердила их адекватность.

Ввиду недостаточной изученности процессов формирования электроакустических покрытий на жаропрочные никелевые сплавы и большого числа входных технологических факторов использовали ротационное центральное композиционное планирование (РЦКП). При ЭЛАН использовали режим (I), соответствующий центральным точкам для 4-факторного эксперимента.

При реализации матрицы РЦКП и соответствующей обработке результатов получены уравнения регрессии математических моделей для адгезионной прочности (Y_1) и жаростойкости (Y_2), адекватно описывающие процесс электроакустического напыления с доверительной вероятностью 0,95:

$$Y_1 = 0,04107 + 0,01130X_1 + 0,01269X_4 - 0,00592X_1^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 34,60 + 9,50X_1 - 1,83X_2 + 11,65X_4 + 5,28X_1X_3 + 3,41X_1X_4 + 2,97X_3X_4 - 4,22 X_1^2 - 3,74 X_2^2 + 2,03X_4^2, \quad (2)$$

где X_1 – емкость разряда (C);

X_2 – напряжение (U);

X_3 – время обработки (τ);

X_4 – частота следования импульсов (f).

Сравнение полученных уравнений показывает, что жаростойкость является более зависимой эксплуатационной характеристикой, так как все введенные технологические факторы в нем оказались значимыми.

Экспериментальные значения параметров оптимизации определялись методом крутого восхождения.

Таким образом, по данным регрессионного анализа оптимальным режимом ЭЛАН для данного композита является:

$$C = 10 \text{ мкФ}; U = 55 \text{ В}; \tau = 95 \text{ с/см}^2; f = 1,40 \text{ кГц}. \quad (II)$$

С учетом всего сказанного были нанесены покрытия по режимам (I) и (II). Для режима (II) жаростойкость увеличилась в (0,3...0,35), а адгезионная прочность в (0,1...0,15) раза соответственно.

Далее приводятся сведения по микроструктуре электроакустических покрытий на литейном жаропрочном сплаве ЭП202. Исследованы покрытия, полученные электродом из сплава ЖСЭДК с добавками 0,5% Ду и 0,1% Нf. Покрытия наносились на установке «ЭЛАН-3» на оптимальном режиме Ц. Структура композита (металлографически изучался косой срез) состоит

из трех зон. Покрытие представляет собой многослойную двух – трехфазную структуру, состоящую из темной фазы, в которую внедрены слоистые белые фазы, и включений различной формы. Слоистое строение обусловлено импульсным нанесением частиц покрытия и остыванием каждого нанесенного слоя за время до нанесения следующего слоя.

Вторая (переходная) зона состоит из округлых частиц с мелкозерненным внутренним строением, ориентированных преимущественно перпендикулярно подложке. Образование этой зоны обусловлено наклепом поверхности материала и процессами рекристаллизации в нем под воздействием тепла частиц. Кроме того, ультразвуковое упрочнение приводит к изменению тонкой кристаллической структуры поверхностного слоя (переходной зоны), которая находит свое выражение в высокой степени дисперсности блоков когерентного рассеяния.

Энергетическая неоднородность поверхностного слоя предопределяет взаимодействие покрытия с основой в областях с минимальной энергией, являющихся местами схватывания, а именно в местах выхода дислокаций на поверхность. Продольно-крутильные ультразвуковые колебания (УЗК), воздействуя на поверхность как удар со сдвигом, повышают число выхода дислокаций на поверхность, что приводит к увеличению очагов схватывания.

Третья зона (подложка), представляющая собой сплав ЭП202, мало изменяется. Рентгеноструктурный фазовый анализ выявил в покрытии те же основные фазы, что и в материале подложки. Кроме них выявлены слабые линии, характеризующие наличие в поверхности покрытия шпинелей. Далее приводятся сведения о характере разрушения композита. Приведено исследование внутренних напряжений по толщине покрытия. В переходной зоне покрытия имеют место сжимающие напряжения, которые с увеличением толщины переходят в растягивающие.

Толщина покрытия в оптимальном режиме ЭЛАН составляет (150...170) мкм при пористости ~0,95. Мягкий энергетический режим ЭЛАН уменьшает плотность покрытия.

Экспериментально установлено, что разрушение композита происходит в зоне покрытия с наименьшими внутренними напряжениями на расстоянии (30...50) мкм в глубь покрытия от поверхности подложки. Разрушение в основном хрупкое, межчастичное; в то же время в зоне отрыва нами обнаружены очаги смешанного разрушения – внутри частиц.

Ниже кратко рассмотрено влияние лазерной и финишной обработки на структуру и физико-механические свойства поверхностных слоев литого сплава и покрытий.

Установлено, что в процессе облучения лазером поверхностей литого сплава ЭП202 и композита происходит кристаллизация микрообъемов с большими скоростями охлаждения, что приводит к образованию мелкокристаллических покрытий. Установлено положительное влияние лазерной обработки на адгезионные свойства электроакустических покрытий. В

зоне лазерного влияния практически отсутствуют трещины, поры и отслоения, ответственные за пониженную прочность в покрытии. Структурные превращения в зоне лазерного воздействия сопровождаются упрочнением поверхности, при этом микротвердость увеличивается до 20000 МПа. Отмечено измельчение всех структурных составляющих, а также отсутствие охрупчивающих σ -фаз. Рентгеновским методом определяли внутренние напряжения в поверхностном слое образцов до и после лазерной обработки; напряжения изменялись от растягивающих (до 350 МПа) до сжимающих (до 362 МПа). Лазерная обработка повышает износостойкость в (1,5...2) раза.

В работе изучалась микрогеометрия поверхностных слоев до и после ЭЛАН. Установлено, что шероховатость покрытия, нанесенного на оптимальном режиме, удовлетворительна. Тем не менее в ряде практических случаев необходимо проведение финишной обработки – выглаживания, обеспечивающего $Ra \sim 0,5$ мкм. Выглаживание твердым сплавом ВК6М снижает общий уровень растягивающих напряжений в покрытии за счет наведения сжимающих напряжений.

Список литературы

1. Гадалов В.Н., Рыжков Ф.Н. Локальное восстановление компонентов турбин высокого давления (турбокомпрессоров) методами плазменного, электроискрового, электроакустического напыления и лазерной обработки // *Материалы и упрочняющие технологии* – 98: сб. материалов VI Российской научно-технической конференции (15–17 декабря 1998 г.). Курск, 1998. С. 4–6.
2. Гадалов В.Н. О применении электроакустического способа получения покрытий из высокохромистых никелевых сплавов // *Материалы и упрочняющие технологии* – 94: материалы Российской научно-технической конференции (15–17 ноября 1994 г.). Курск, 1994. С. 5–6.
3. Гадалов В.Н. Новые возможности электроискровой и электроакустической обработки металлических материалов // *Отделочно-упрочняющая технология в машиностроении: сб. публикаций Международной научно-технической конференции Федерации НТОМ СНГ, НТОМ РБ. Минск, 1994. Ч. 2. С. 22–23.*
4. Гадалов В.Н., Серебровский В.И., Поздняков М.В. Оптимизация технологии электроакустического способа нанесения покрытий из жаропрочных никелевых сплавов путем математического моделирования // *Распознавание – 2001: сб. матер. V Международной конференции Курск, 2001. Ч. 2. С. 352–354.*
5. Соболев И.М., Статникова Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981.
6. Гадалов В.Н., Рошупкин В.М., Попов А.Д. Повышение эксплуатационных характеристик композиционного материала за счет модифицирующего воздействия электроакустической обработки // *Прогрессивные методы получения и обработки конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин: тез. докладов Международной научно-технической конференции (18–19 сентября 1996 г.). Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 1996. С. 158–159.*
7. Гадалов В.Н., Рошупкин В.М. О применении акустического способа получения покрытий из высокохромистых никелевых сплавов // *Третье собрание металлургов России: тез. докладов Международной научно-технической конференции (24–27 сентября 1996 г.). Рязань, 1996. С. 21–22.*

УДК 621.9.048

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПИСАНИЯ АНОДНОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ

Гадалов В.Н.¹, Сафонов С.В.², Горецкий В.В.²,
Шестакина С.В.¹, Абакумов А.В.¹, Тураева О.А.¹

¹Юго-Западный государственный университет, Курск

²Воронежский государственный технический университет

Рассмотрен фрактальный подход к моделированию эрозионного массопереноса при ЭИЛ.

Разработка новых и улучшение уже имеющихся защитных покрытий на металлах и сплавах в последнее время является одной из главных проблем, успешное решение которой позволяет заменить объемное легирование поверхностным, что приводит к значительной экономии легирующих элементов, а также возможность изменять поверхностные свойства металлических материалов в заданном направлении, повышать их работоспособность и качество.

В ряду методов, применяемых для модификации рабочих поверхностей машиностроительных материалов с целью увеличения их ресурса или восстановления эксплуатационных свойств, значительное применение находит электроискровое легирование (ЭИЛ) и его разновидность – метод механизированного ЭИЛ [1–3].

В процессе обработки этим методом изменяются в широких пределах химический состав, структура и эксплуатационные свойства поверхностного слоя, а также рельеф поверхности обрабатываемого инструмента, детали или узла.

Развитие ЭИЛ и его эффективность в большой степени зависят от уровня экспериментальных и теоретических исследований и правильного их интерпретирования [4].

В настоящей работе представлены сведения, объясняющие процесс эрозионного массопереноса при ЭИЛ и его моделирование на основе фрактального процесса.

Имеющиеся точки зрения до настоящего времени на первопричинность образования искрового разряда при ЭИЛ носят дискуссионный характер. Но дальнейшие представления эволюции эрозионного процесса сводятся к единой модели, которую поддерживают большинство ученых. Она основана на фрактальном подходе к моделированию процесса эрозионного массопереноса при ЭИЛ.

Под фрактальностью подразумевают проявления единого рекуррентного правила (закона, принципа) организации самоподобных явлений, охватывающих определенный масштабный диапазон. Причастность к фракталь-

ным соотношениям (фрактальной симметрии) определяется проявлением скейлинговой зависимости, в которой мерой оценки масштабного фактора, как правило, используется геометрический параметр. При нарушении фрактальной симметрии вводят понятие мультифрактальной симметрии со своей параметризацией, определяемой по аналогии со скейлинговой зависимостью, построенной по совокупности числовых значений первых производных в точках сингулярности. Согласно теореме Рамсея, любое достаточно большое число элементов структур обязательно содержит высокоупорядоченную структуру. Это означает, что любую систему, содержащую достаточно большое количество элементов, можно рассматривать как мультифрактал, составленный из конечного числа вложенных друг в друга самоподобных структур. Фрактальная и мультифрактальная формализация раскрывает алгоритм генерирования множества фрактальных соотношений применительно к любому объекту или процессу, имеющему сложную многоуровневую структуру, поэтому фрактальная параметризация как методологический инструмент анализа должна нести не только информационно-описательную нагрузку, но и раскрывать физическую сторону процессов.

Исходя из вышесказанного модель образования искрового разряда при ЭИЛ можно описать следующим образом. Так, в зоне взаимодействия искрового разряда с проводником возникает локальная область высокого давления за счет абляции и теплового выброса. Возрастающее давление приводит к повышению температуры фазово-структурных превращений материала, поэтому, несмотря на высокую температуру, образующиеся продукты эрозии включают кроме пароплазменной и жидкокапельной фаз твердокристаллические частицы. По мере разлета продуктов эрозии и падения локального напряжения в твердокристаллических и жидкокапельных частицах нарушается баланс между внутренней и поверхностной энергиями, в результате происходит оплавление твердых частиц, а они в свою очередь дробятся на более мелкие фрагменты. Процесс дробления эрозионных частиц носит многокаскадный характер, при этом каждый этап диспергирования можно рассматривать как переход через точку бифуркации, а формирование структуры анодного массового потока – как самоподобный на разномасштабном уровне процесс, т.е. фрактальный процесс.

Развитие «гранулометрической» структуры анодного массового потока можно представить следующей моделью. Пусть первоначально при взаимодействии искрового разряда с поверхностью анода образуется $(k_1 + k_2)$ эрозионных частиц, при этом k_1 частиц в дальнейшем останутся неизменными, а k_2 частиц подвергнутся последующему диспергированию с соблюдением единого рекуррентного соотношения, т.е. каждая частица из k_2 множества будет дробиться на $(k_1 + k_2)$ более мелких частиц. Значения k_1 и k_2 в первом приближении можно принять постоянными, но при рассмотрении более сложных процессов диспергирования следует вводить дополни-

тельные рекуррентные условия их определения с учетом предыдущих этапов. Развитие анодного массового потока в виде представленной модели обладает всеми свойствами самоподобия и представляет частный вариант множества Кантора (порошок Кантора), характеризующийся фрактальной размерностью.

Фрактальная размерность как параметр скейлинговой зависимости определяется выражением

$$D = \frac{D \ln N_Y}{D \ln m_i} = - \frac{\ln \left(k_2 \frac{k_2^i - 1}{k_1^{i-1} - 1} \right)}{\ln (k_1 + k_2)}, \quad (1)$$

где N_Σ – суммарное количество частиц, масса которых не превышает m_i .

С учетом, что $k_2 \gg 1$:

$$D \approx - \frac{2 \ln k_2}{\ln (k_1 + k_2)}. \quad (2)$$

Перемещение эрозионного массового потока в межэлектродном пространстве сопровождается активным паро- и плазмообразованием, а также выгоранием частиц, приводящих к снижению концентрации мелких и уменьшению диаметрального размера крупных фракций. При осаждении массового потока на поверхности анода образующиеся микролуночки могут накладываться друг на друга, а из-за теплового выброса материала могут существенно превышать размеры самих частиц, причем эта разница должна быть больше при осаждении микрочастиц меньшего размера. В связи с вышеизложенным фрактальный размер распределения микролунок должен характеризоваться большим значением по сравнению с фрактальным размером эрозионного массового потока. Однако характер влияния режимов ЭИЛ должен адекватно проявляться как на фрактальной размерности эрозионного потока, так и на размерном распределении микролунок.

Исследование влияния режимов ЭИЛ на фрактальную размерность покрытия осуществлялось по следующей методике. На зеркальную поверхность закаленного образца из стали 6ХС однопроходно наносилось покрытие электроискровым способом легирующим электродом из ВК6М с помощью болгарской установки «ЭЛФА-541». Легирующая инструментальная сталь 6ХС имеет следующий химический состав (по легирующим элементам, %):

С (0,55...0,65); Cr (0,85...1,2); Mn (0,3...0,55); Si (1,1...1,5); других элементов нет. Термическая обработка: закалка с (850...860)°С, охлаждение (вода, масло); отпуск (140...150)°С. Твердость HRC (61...63). Сталь 6ХС используется для инструмента, не подвергаемого нагреву свыше (200...240)°С. Это в основном инструмент для обработки древесины (долота, стамески, резки и др.). Твердый сплав ВК6М (химический состав, %: 79WC; 15TiC и 6 Co).

Диаметральный размер микролунок и их количество определяли по микрофотографиям упрочненных участков, снятых в зоне покрытия. Фрактальную размерность рассчитывали по углу наклона логарифмического интегрального распределения диаметральных размеров микролунок (распределение Ричардсона).

В таблице в качестве примера приведена фрактальная размерность распределения микролунок на поверхности образца из стали 6ХС, упрочненного легирующим электродом из ВК6М.

Таблица 1 - Влияние энергии электроискрового разряда на фрактальную размерность электроискрового покрытия, нанесенного электродным материалом ВК6М на сталь 6ХС

№ п/п	Энергия искрового разряда (Дж)	Фрактальная размерность (относительные единицы)
1	0,05	2,503
2	0,12	3,215
3	0,19	3,501
4	0,26	3,712

Как следует из таблицы 1, с увеличением энергии искрового разряда область (правильный диапазон) рассеивания становится уже и уходит в область больших диаметральных размеров. Обнаруженный рост фрактальной размерности предполагает увеличение диссипативных свойств осаждаемого анодного массового потока. Данный вывод вытекает из того, что на формирование поверхностей с более мелкой фракцией эрозионного массового потока требуются более значительные энергетические затраты, которые достигают больших значений. В связи с этим данный массовый поток должен иметь более высокие диссипативные свойства. Эксперименты подтверждают выдвинутые предположения по реализации предполагаемой модели электроискрового разряда.

Список литературы

1. Обобщенная модель процесса электроискрового легирования / В.Н. Гадалов, С.Б. Григорьев, Л.Г. Рагулина [и др.] // *Материалы и упрочняющие технологии* / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. Ч. 1. С. 126–133.
2. Вопросы развития метода электроискрового легирования / В.Н. Гадалов, Е.В. Чернышова, С.Б. Григорьев [и др.] // *Материалы и упрочняющие технологии* / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. Ч. 2. С. 32–40.
3. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М.: ИНФРА-М, 2011. 468 с.
4. Перспективы развития методов электроискровой обработки и ее практические проблемы / В.Н. Гадалов, Д.В. Климов, Т.Н. Розина [и др.] // *Материалы и упрочняющие технологии* / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012. С. 87–108.

УДК 621.793.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ПОРОШКА САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ СПЛАВА И РЯДА ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОДНОМ МАТЕРИАЛЕ СО-WC НА ПРОЦЕСС МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ И ЕГО СВОЙСТВА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЛЕГИРОВАНИИ СТАЛИ ХВГ

Гадалов В.Н.¹, Николенко С.В.², Сафонов С.В.³,
Сальников В.Г.¹, Климов Д.В.¹, Горецкий В.В.³

¹Юго-Западный государственный университет, Курск

²Хабаровский научный институт материаловедения

³Воронежский государственный технический университет

Представлены результаты исследования композитов сталь ХВГ с ЛЭНП из твердого сплава ВК6М с добавками (4...12)% вес сплава «Колмоной» и без них.

Повышение работоспособности деталей и инструмента с помощью электроискрового легирования (ЭИЛ), в частности локального электроискрового нанесения покрытий (ЛЭНП) с использованием механизированных установок с вращающимися электродами-инструментами (типа ЭЛФА-541 – болгарского изготовления), является востребованным в машиностроении.

Анализ современного получения измененного поверхностного слоя в зависимости от его назначения позволяет сделать вывод, что исследования в данной области далеко себя не исчерпали.

В качестве легирующего электрода применяют в основном твердые сплавы на основе карбидов вольфрама и титана, однако они не всегда удовлетворяют предъявляемым к электродным материалам для ЭИЛ требованиям в связи с их высокой эрозионной стойкостью. Для большей эффективности получения легированных покрытий и их применения требуется создание специальных электродных материалов с учетом специфики их поведения в условиях искрового разряда в комплексе с разработкой технологического оборудования.

Получение качественного легированного слоя с заданными характеристиками связано с длительным экспериментированием по оптимизации режимов обработки материала легирующего электрода в зависимости от материала детали-катода.

В литературе имеются отрывочные сведения о влиянии физико-химических свойств материала электрода на формирование легированного слоя (ЛС) при разных режимах обработки при ЭИЛ твердыми сплавами, тугоплавкими металлами на данном типе установок. Известно, что при электроискровом легировании сталей с использованием установок как с ручным вибратором, так и механизированных наблюдаются в общем случае наилучшие и наиболее эффективные условия формирования легиру-

ванного слоя и его свойств с использованием электродов (анодов), образующих неограниченно твёрдые растворы с материалом подложки (катада). При этом нет общепризнанного мнения о влиянии эрозии на процесс формирования легированного слоя, её зависимости от теплофизических и механических констант материала электродов [1–2].

В связи с этим представляет научный и практический интерес исследование процесса формирования поверхностного слоя на механизированной установке при легировании сталей «модельными объектами» – чистыми металлами (используемыми в практике ЭИЛ электродными материалами [2]), чей выбор обусловлен тем, что они дают наибольшую возможность проследить влияние физико-химической природы материала легирующего электрода на процесс ЭИЛ в широком диапазоне теплофизических и механических констант. Это позволит полнее изучить закономерности формирования ЛС, которые также будут характерны и для других типов механизированных установок с вращающимся торцевым электродом (МУВТЭ).

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования влияния физико-химических и эксплуатационных свойств материала легирующего электрода на состав, структуру, свойства изменённого поверхностного слоя с целью разработки принципов выбора и критериев создания материала легирующего электрода, а также создания установок для электроискрового легирования нового поколения.

В качестве материала подложки – катада – была использована сталь ХВГ, содержащая хром и вольфрам, в качестве главного легирующего элемента (табл. 1).

Таблица 1

Марка стали	Содержание элементов, % вес.				
	C	Mn	Si	Cr	W
ХВГ	0,98	1,02	0,26	1,13	1,46

В качестве электродов использовался стандартный твердый сплав ВК6М с добавками самофлюсующегося сплава типа «Колмоной» и без него.

Электроды из твердого сплава ВК6М имеют химический состав 6Со-94WC, твердость HV₃₀ (1350...1370) кгс/мм², коэффициент теплопроводности (4,79...4,81) Вт/(мК) и плотность (14,78...14,82) т/м³. Локальное электроискровое нанесение покрытий (ЛЭИП) вышеуказанным электродом проводили на болгарской механизированной установке «ЭЛФА-541» с вращающимся электродом и столом, движущимся с постоянной скоростью [с генератором импульсов (Jp = 1,4А; Vxx = 40 В; C = 360 мкф; E = 0,30 Дж; 7 – (98...102)Гц)].

В работе исследована кинетика процесса механизированного ЛЭИП, которая позволила определить его основные параметры. При этом установлено, что наилучшие условия формирования упрочнённого слоя определяются взаимной растворимостью материалов электродов и соотношением количества эродированного материала анода.

Проведённые исследования показали, что в данных условиях «чистового» легирования «тепловая» теория эрозии материала анода не нашла своего подтверждения, поскольку не наблюдается прямой зависимости эрозионной стойкости материалов от температуры плавления.

При «чистовом» ЛЭИП МУВТЭ подтверждается механизм протекания эрозии материала анода и его перенос на катод в жидкой, паровой и твёрдой фазах. Для повышения его эффективности необходимо обеспечить:

а) максимальное количество жидкой фазы в продуктах эрозии, что может быть достигнуто подогревом электродов, некоторым повышением рабочего тока и т.п.;

б) исключить образование оксидных/нитридных фаз на рабочих поверхностях/электродов (вторичных структур) за счёт использования инертной межэлектродной среды или создания электродов с самофлюсующимися добавками.

Результаты металлографических исследований формирования легированного слоя на образцах из стали ХВГ показали, что сплошность ЛС наиболее высокая у никеля (100%), а также хрома и циркония (до 99,8%), а наименьшая из исследуемых металлов – у вольфрама и титана. Микротвердость ЛС наиболее высокая при ЭИЛ молибденом и хромом. Первое можно объяснить образованием с железом интерметаллидной фазы Fe₂Mo, а также карбидных фаз с углеродом стали. Второе – образованием интерметаллида FeCr и карбидного соединения Cr₇C₃.

При металлографическом исследовании микроструктуры поверхностного слоя ЛЭИП выявлено наличие «белого» слоя (рис. 1) с изменением микротвердости по толщине покрытия (рис. 2), а также зона термического влияния (ЗТВ) с микротвердостью Hц (4,5...5,1) ГПа.



Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя покрытия, полученного методом ЛЭИП на стали ХВГ электродом ВК6М. Поперечный шлиф (×800)

Рис. 2. Изменение микротвердости (Hц) по толщине покрытия (h) методом ЛЭИП на стали ХВГ электродом ВК6М

Белый слой (БС) представляет собой аустенит, насыщенный дисперсными карбидами W, Cr, Mo и Fe. Под этим слоем находится ЗТВ – зона отпуски. БС образуется из жидкой фазы путем перемешивания с подложкой и взаимопроникающей диффузией. В составе ЛЭНП присутствуют также α -Fe и оксиды Fe_2O_3 и WO_3 . Наличие α -Fe и тройного карбида Fe_3W_3C обусловлено микрометаллургическими процессами, протекающими на катоде, и химическим взаимодействием компонентов сплава ВК6М с материалом катода (Fe). Фаза W_2C образуется в результате диссоциации WC.

Помимо БС в материале поверхностного слоя присутствует менее плотная серая фаза («серый слой»), находящаяся в виде отдельных участков в белой фазе. Образование серого слоя объясняется переносом материала в твердой фазе.

Для исследования влияния добавки самофлюсующегося материала «Колмоной» на структуру ЛЭНП на стали ХВГ были изготовлены три электрода из сплава ВК6М с добавками (4...12)% по массе вышеуказанного материала. Электроды с добавками изготавливались методом СВС-экструзии [3–5].

В таблице 2 представлены сведения по гранулометрическому составу продуктов эрозии сплава ВК6М с добавками сплава «Колмоной» и без них.

Таблица 2 - Гранулометрический состав продуктов эрозии электродных материалов

Материалы электрода (анода)	Шарообразные частицы		Частицы хрупкого разрушения	
	Содержание, %	Размер, мкм	Содержание, %	Размер, мкм
1. ВК6М	(44...45)	(12...143)	(53...56)	(46...665)
2. ВК6М с добавкой сплава «Колмоной» 4,0%	(62...64)	(10...95)	(35...38)	(35...585)
3. ВК6М с добавкой сплава «Колмоной» 8,0%	(72...74)	(12...82)	(24...26)	(47...595)
4. ВК6М с добавкой сплава «Колмоной» 12,0%	(85...87)	(13...81)	(12...15)	(55...605)

Из данных таблицы 2 следует, что при ЛЭНП большая энергия в импульсе способствует хрупкому разрушению, а состав продуктов эрозии смещается в сторону крупнодисперсной фракции. С увеличением содержания самофлюсующейся добавки значительно увеличивается количество жидкофазной составляющей от $\approx 44,5\%$ для ВК6М до $\approx 86,5\%$ для сплава №4.

На рис. 3 представлен вид продуктов эрозии при электроискровой обработке на стали ХВГ (его состав смотри в таблице 1) электродом №3.

Рисунок 3 - Вид продуктов эрозии, полученных при ЛЭНП на стали ХВГ электродом ВК6М с добавкой 8,0% сплава «Колмоной» ($\times 180$)

При исследовании микроструктуры выявлено, что с ростом количества добавки «Колмоной» в электродном материале в поверхностном слое покрытия повышается его сплошность и толщина поверхностного слоя (ПС), а также увеличивается содержание серой фазы. Максимальное значение микротвердости серой фазы в поверхностном слое ($H_u = (29...30)$ ГПа) и белой фазы ($H_u = (25...26)$ ГПа) наблюдается при содержании в электроде (7,5...10)% по массе добавки сплава «Колмоной».

На рис. 4 представлена микроструктура ЛЭНП стали ХВГ электродом №3 (см. табл. 2).

a) б)

Рисунок 4 - Микроструктура ЛЭНП стали ХВГ электродным материалом ВК6М с добавкой 8,0% сплава «Колмоной»: а – $\times 200$; б – $\times 1000$

Топография поверхности материалов изучалась на атомно-силовом микроскопе «SmartSPM™» производства компании АИСТ-НТ (Россия). Исследования проводились в контактном режиме методами постоянной высоты и постоянной силы.

Исследования атомно-силовой микроскопии (рис. 5) показали, что при ЭИЛ сплавом ВК6М с использованием добавки самофлюсующегося материала «Колмоной» на поверхностном слое образуется наноструктура размерами несколько сотен нанометров.

Рис. 5. Топография покрытия образца, нанесенного электродным материалом на основе твердого сплава ВК6М с добавкой 8,0% самофлюсующегося сплава «Колмоной»

Таким образом, нами установлено, что нанесение на сталь ХВГ электроискровых покрытий из сплава ВК6М с добавкой (8,0...12,0)% по массе самофлюсующегося материала «Колмоной» позволяет значительно повысить микротвердость поверхностного слоя детали по сравнению с нанесением покрытий стандартным электродом, что приводит к увеличению срока службы специальных деталей.

Оптимальным для нанесения покрытий на сталь ХВГ является сплав ВК6М с добавкой 8,0% материала «Колмоной», поскольку дальнейшее повышение содержания добавки незначительно влияет на микротвердость поверхностного слоя, но при этом существенно увеличивается стоимость полученного электрода.

Список литературы

1. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: монография / В.А. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев [и др.]. М.: ИНФА-М, 2011. 468 с.
2. Николенко С.В., Верхотуров А.Д. Новые электродные материалы для электроискрового легирования. Владивосток: Дальнаука, 2005. 219 с.
3. Мершанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: двадцать лет поисков и находок. М.: Черноголовка, 1989. 92 с.
4. Амосов А.В. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: учебное пособие. М.: Машиностроение – 1, 2007. 567 с.
5. Бажин П.М., Столин А.М. Получение методом СВС-экструзии электродов для электроискрового легирования, свойства и перспективы применения // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 106. С. 125–127.
6. Использование самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для повышения эксплуатационных свойств деталей и инструмента / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, С.В. Шестакина [и др.] // Вестник Курской гос. сельскохозяйственной академии. 2012. Т. 1, №1. С. 130–133.

УДК 669.058:546.27

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ОСНОВЕ БОРА

Романенко А.Г.

Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия

Известно, что упрочненные слои, полученные с использованием традиционного борирования, обладая высокой твердостью, являются достаточно хрупкими. Для устранения этого недостатка часть образцов одновременно с борированием подвергалась комплексному боридному упрочнению, когда наряду с бором в поверхностные слои диффундируют атомы других элементов, обеспечивающих за счет изменения структурного состояния повышенное сопротивление хрупкому разрушению. Особенно в этом плане эффективно использование борлирующих сред, в которых присутствуют компоненты, обеспечивающие наряду с бором диффузию кремния и других элементов – процессы боросилицирования и бороалюмосилицирования [1–4], а также лантаноборирования [5].

Для диффузионного упрочнения применялись порошковые смеси, позволяющие проводить боридное упрочнение в воздушной среде без использования дополнительного защитного оборудования. При этом в случае упрочнения мелкогабаритных деталей или исследуемых образцов порошковая смесь засыпается в негерметизируемый контейнер с насыщаемыми образцами и выдерживается в электропечи с воздушной атмосферой при заданной температуре с последующим охлаждением на воздухе. В случае крупногабаритных деталей на основе порошковой смеси после введения в нее воды приготавливается обмазка, которая наносится только на рабочие части образца или детали, после чего проводится ХТО, которую можно совмещать с процессом нагрева под закалку [2].

Изменение структурного состояния цианированных, лантаноборированных, боросилицированных и других слоев по сравнению с борированными очень заметно сказывается на их микрохрупкости.

Определение микрохрупкости диффузионных слоев проводилось с использованием прибора ПМТ-3. Микрохрупкость оценивалась по напряжению скола (σ) диффузионно-упрочненной поверхности (чем ниже напряжение скола, тем выше хрупкость), которое зависит от l (минимального расстояния от центра отпечатка алмазной пирамиды до края образца при нагрузке P) [6]:

$$\sigma = \frac{0,17P}{2l^2} + l \cdot c,$$

где c – длина диагонали отпечатка алмазной пирамиды.

На рисунке 1 представлены сравнительные диаграммы микротвердости для ряда фаз упрочненных слоев сталей 45, 40Х и (25...30)ХГТ (бори-

рование проводилось при температуре 890°C в течение 3 часов). Отдельные фазы: 1 – FeB; 2 – Fe₂B; 3 – альфа-фаза (α).

Нами исследована структура поверхностных слоев, полученных на образцах из сталей 45, 40X и 25XГТ при упрочнениях в смесях, содержащих бор, бор и кремний, бор, кремний и алюминий, при температурах (820...900)°C.

При проведении бороалюмосилицирования влияние температуры насыщения наиболее заметно. Так, при температуре 890°C упрочненный слой становится более плотным (сплошным) и содержит больше боридов (рис. 2), которые распределены равномерно по слою по сравнению с обработкой при 820°C. Толщина слоя при этом составляет (44...49) мкм.

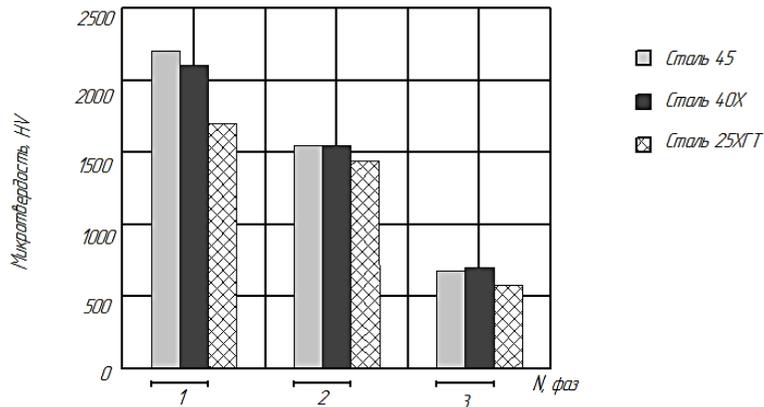


Рисунок 1 - Сравнительные диаграммы микротвердости упрочненных слоев сталей 45, 40X, 25XГТ для ряда отдельных фаз (N): 1 – FeB; 2 – Fe₂B; 3 – α-фаза. Режим ХТО: T = 890°C, τ = 3 ч

Рисунок 2 - Микроструктуры поверхностных слоев образцов сталей 40X (1,2) и 45 (3,4): 1, 3 – (B-Si-Al), 820°C, 3 ч; 2, 4 – (B-Si-Al), 890°C, 3 ч (×400)

Исследования структуры показали, что после проведенной ХТО (боро-силицирования) под упрочненным слоем создается зона, отличающаяся по структуре и твердости от исходной стали (сердцевина). Данная зона обогащена бором и углеродом. Она обладает большей закаливемостью по отношению к сердцевине и в связи с этим при охлаждении на воздухе с температуры борирования она подкаливается с образованием неоднородных и

крупнозернистых структур закалки, уменьшающих прочность слоя. Определены три зоны, которым соответствуют следующие значения микротвердости: зона насыщения B, Si и Al – (16...20) ГПа; переходная зона (4,4...5,4) ГПа и зона три – сердцевина (1,6...1,9) ГПа.

Анализ поверхностных слоев показал, что структура и рост слоя боридов зависят не только от условий комплексного борирования, но и в значительной степени от химического состава стали, из которой изготовлены образцы. Повышенное содержание легирующих элементов, а также углерода ограничивает рост общей толщины слоя и снижает его зазубренность. Уменьшение общей толщины слоя (глубины проникновения боридных игл) происходит быстрее, чем уменьшение толщины сплошного слоя боридов, поэтому с ростом содержания углерода в стали компактность слоя растет, а его игольчатость уменьшается.

Для исследования фазового состава поверхностных слоев, полученных при обработке в разных составах при температурах 820°C и 890°C, проведен микрорентгеноспектральный анализ на сканирующем микроскопе JEOL.

Результаты исследования показывают, что в результате борирования толщина слоя больше, чем в случае боросилицирования и бороалюмосилицирования, однако иглы боридных фаз острее.

Получая отличающиеся по структуре диффузионные слои с различным соотношением фаз FeB, Fe₂B, Fe₃Si, можно в значительной степени влиять на сопротивление хрупкому разрушению поверхностных слоев деталей, эксплуатирующихся в реальных условиях в парах трения при периодических или постоянных ударных воздействиях. Так, если процесс изнашивания протекает без когда-либо проявляющихся динамических воздействий, то можно рекомендовать к применению процесс борирования – как для мелкогабаритных деталей ХТО в порошковых смесях с использованием негерметизируемых контейнеров, так и крупногабаритных деталей – в обмазках, которые наносятся только на изнашивающиеся поверхности деталей. Если изнашивание протекает в условиях сравнительно невысокого уровня периодически проявляющихся ударных воздействий, можно использовать процесс боросилицирования при (800...900)°C.

Список литературы

1. Диффузионные боридные покрытия на железе, сталях и сплавах (с альбомом фотографий): монография / В.Н. Гадалов, А.С. Борсяков, В.Г. Сальников [и др.]. М.: Курс, 2012. 146 с.
2. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совместные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. Минск: Выш. школа, 1987. 121 с.
3. Ситкевич М.В., Кузьменко Н.Н. Использование двухкомпонентного диффузионного упрочнения с участием бора и кремния для повышения свойств сталей // Наука – образованию, производству, экономике: материалы V Международной научно-технической конференции. Минск, 2007. 145 с.
4. Ситкевич М.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и

технологической оснастки: материалы XX Международной научно-технической конференции (15–18 апр. 2008 г.) СПб.: Изд-во политехнического университета, 2008. С. 346–353.

5. Гадалов В.Н., Борсяков А.С., Чернышова Е.В. Изучение диффузионных покрытий на сталях при лантаноборировании // *Материалы и упрочняющие технологии – 2009* / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. С. 53–56.

6. Григоров П.К., Катханов А.И. Методика определения хрупкости борированного слоя // *Повышение надежности и долговечности деталей машин*. Ростов н/Д, 1972. Вып. 16. С. 97–98.

УДК 620.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕГРЕГАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ
И ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОСИСТЕМЫ
«КОЛЕСО – РЕЛЬС – ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА»**

Колесников В.И., Булгаревич С.Б., Мигаль Ю.Ф., Сычёв А.П., Бойко М.В.

Ростовский государственный университет путей сообщения,

Ростов-на-Дону

Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону

В статье даны рекомендации по изготовлению композиционной тормозной колодки и увеличению срока службы трибосистемы «колесо – рельс – тормозная колодка».

Одной из причин выхода из эксплуатации колес и рельсов является явление сегрегации, обусловленное накоплением на зернограничных поверхностях легирующих и примесных элементов и приводящее к снижению прочности поликристаллических материалов. Полученные ранее данные позволяют сделать вывод о существовании интенсивных обменно-диффузионных процессов, стимулированных и поддерживаемых процессом трения во время функционирования системы «колесо – рельс – тормозная колодка». Перешедшие из тормозной колодки элементы могут диффундировать по границам зерен материала колеса на достаточно большие расстояния от его рабочей поверхности, формируя новый химический состав на границах зерен приповерхностного слоя наряду с сегрегационными процессами, присущими самой стали.

Мы предполагаем, что, варьируя состав тормозной колодки так, чтобы из неё за счёт диффузии на зернограничные поверхности колеса попадали элементы, способствующие упрочнению материала, можно предотвратить катастрофическое разрушение приповерхностных слоев материала и увеличить время эксплуатации трибосистемы. Элементами, снижающими охрупчивание стали, согласно литературным данным и нашим квантово-химическим расчётам, являются бор, титан, молибден, ванадий, цирконий и др.

В этой связи мы предлагаем добавлять в исходный композиционный материал тормозной колодки ТИИР-300 в общем количестве от 5 до 10% от общей массы композиции следующие неорганические соединения: бориды металлов, оксиды титана, молибдена, ванадия. Стоит отметить, что эти добавки не должны изменять механических свойств тормозной колодки, таких как твердость, коэффициент трения колодки с колесом и др. Все указанные вещества, кроме бориды циркония, не оказывали существенного влияния на указанные характеристики колодки.

Сформулированы рекомендации по изготовлению композиционной тормозной колодки и увеличению срока службы трибосистемы «колесо – рельс – тормозная колодка».

УДК 621.791

**ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
НАНОФАЗНЫХ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Овчинников Е.В.

Гродненский государственный аграрный университет, Беларусь

Рассмотрены методы атомно-силовой микроскопии для исследования структуры и различных характеристик покрытий.

Методы атомно-силовой микроскопии широко применяются для исследования структуры, морфологии, физико-механических характеристик различного типа покрытий, формируемых из газовой, жидкой или твердой фазы [1–3]. Суть метода заключается в том, что атомно-силовой микроскоп детектирует положение зонда в каждой точке измерений. Когда острие зонда находится у поверхности образца на расстоянии несколько нанометров, консоль с зондом изгибается под действием молекулярных сил (притяжение или отталкивание), возникающих между острием и поверхностью образца. Для регистрации изменений положения кантилевера зонда в пространстве используется специальная система, состоящая из позиционно-чувствительного фотодетектора, лазера, видеокамеры, механизма регулирования лазера, механизма перемещения образца в плоскости съемки (рис. 1).

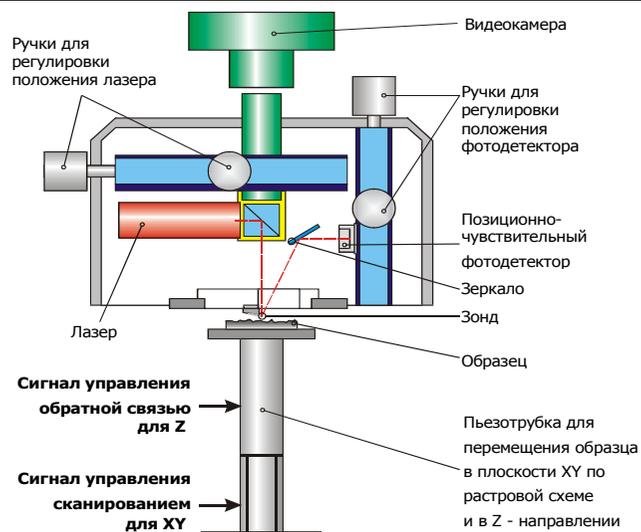


Рисунок 1 - Схема сканирования и детектирования положения зонда атомно-силового микроскопа NT-206

Испускаемый луч света из оптического квантового генератора (ОКГ) с помощью системы зеркал попадает на обратную сторону кантилевера, отражается и поступает на фотодетектор. В результате изменения положения зонда (изгиба кантилевера) происходит перемещение отраженного светового пятна по фотодетектору. Данное изменение положения светового пятна определяется с помощью соответствующего стандартного электронного оборудования [4]. Большинство современных атомно-силовых микроскопов позволяет проводить многослойное сканирование – специализированная методика автоматизированного получения набора АСМ-изображений для одной и той же области на поверхности образца при различных параметрах спектроскопического измерения в определенной точке в пределах измеряемого участка (set-point). Каждое сканирование, полученное при одном значении параметра в режиме «set-point», рассматривается как один слой. Изменение параметра «set-point» при переходе от одного сканирования к другому позволяет определить контактную силу, с которой острие зонда контактирует с исследуемой поверхностью. Применяя определенную математическую обработку результатов, данный метод можно рассматривать как своего рода «томографию» поверхностных слоев.

Статический режим измерений позволяет отслеживать полный диапазон отклонений кантилевера. Основным параметр, который измерительная система поддерживает в ходе сканирования постоянным, – отклонение кантилевера от нейтрального (свободного) положения.

Динамический режим сканирования позволяет существенно повысить чувствительность системы. Основным параметром, который поддерживает

измерительная система, является амплитуда колебаний кантилевера. В данном режиме зонд колеблется на своей резонансной частоте вблизи исследуемой поверхности и в случае измерений в промежуточном режиме входит в контакт с поверхностью в нижней точке своего цикла колебаний.

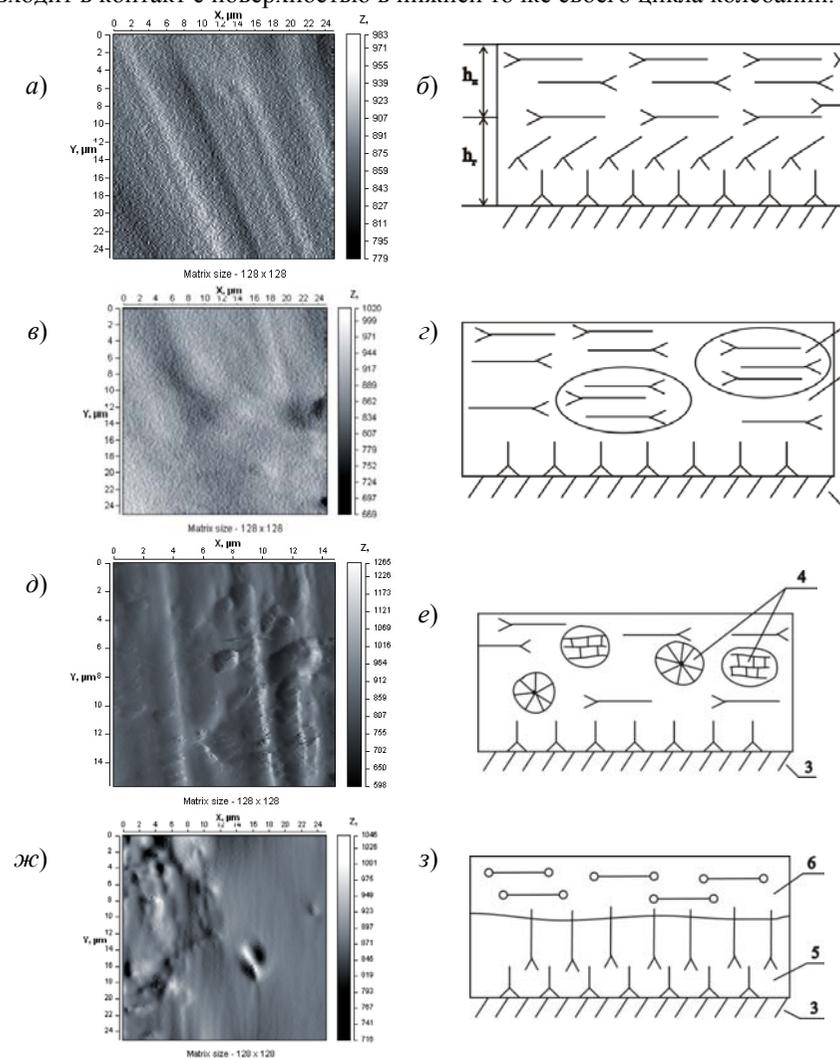


Рисунок 2 - Морфология (а, в, д, ж, и, л) и схема строения (б, з, е, з) фторсодержащих олигомеров «Фолеокс» на подложке из стали 45 исходных (а, б), термообработанных при 473К (в, з), обработанных рентгеновским излучением (д, е), двухслойных (ж, з) (окончание см. на с. 210)

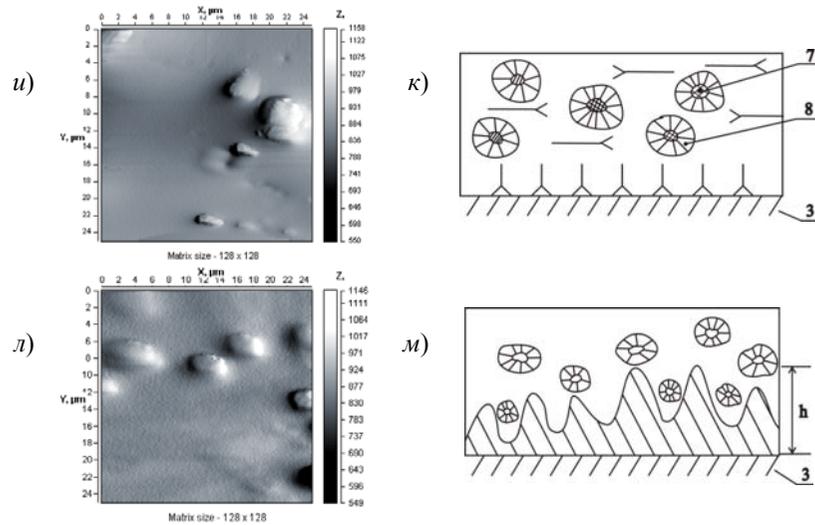


Рисунок 2 - Морфология и схема строения фторсодержащих олигомеров «Фолеокс» на подложке из стали 45, наполненных наночастицами (и, к), нанесенных на активный подслои нитрида титана (л, м)

В некоторых атомно-силовых микроскопах предусмотрен метод двух-проводного сканирования, позволяющий измерять топографию, а затем изображение контраста. В большинстве случаев данный метод позволяет определить распределение электростатического заряда по поверхности образца. Сущность данного метода заключается в следующем: первое сканирование поверхности используется для получения АСМ-изображения топографии. Затем система увеличивает расстояние между зондом и образцом и сканирует тот же участок поверхности повторно, перемещая зонд параллельно рельефу на основании АСМ-данных, полученных при первом сканировании. Прикладывая между острием зонда и поверхностью образца напряжение смещения, прибор при втором проходе регистрирует электростатические силы в каждой точке. Исходя из описания функциональных возможностей атомно-силовых микроскопов видно, что область применения данного оборудования находится в микро- и нанотрибологии, инженерии поверхности и т.п. [5–6].

В настоящее время при изучении тонкослойных фторсодержащих покрытий, получаемых из жидкой фазы, существуют следующие феноменологические модели формирования покрытий (рис. 2) [7].

Особый интерес представляют покрытия, модифицированные нанодисперсными частицами (см. рис. 2). Модифицирование полимерных и олигомерных материалов нанодисперсными частицами приводит к синергическому изменению физико-механических характеристик как объемных материалов, так и покрытий, пленок [8].

В работе [8] предложена следующая модель формирования нанофазных композиционных систем, состоящих из трех типов веществ: вещество наночастицы, связующее и прилегающее к наночастице, часть связующего (модифицированное связующее, рис. 3).

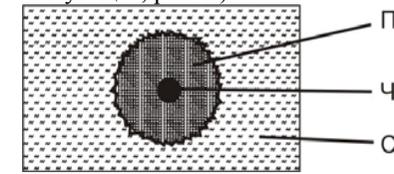


Рисунок 3 - Составные части композита: наночастица наполнителя (Ч), связующее (С), модифицированное под действие наночастицы наполнителя связующее (П)

В работе [9] для определения модифицирующего влияния наночастиц на близлежащие слои полимерной или олигомерной матрицы применяют следующее выражение:

$$L = r \left[1 + \frac{\rho_n}{\rho_{\Pi}} \left(\frac{1}{C_n} - 1 \right) \right]^{1/3}, \quad (1)$$

где r – размер частицы;

ρ_n и ρ_{Π} – плотность наполнителя и полимера;

C_n – концентрация наполнителя;

L – толщина полимерной матрицы, в которой частица модификатора проявляет свою активность [8].

В случае, если модифицирующее влияние наночастиц проявляется при их допинговом содержании, то $1/C_n \gg 1$, тогда уравнение (1) можно представить в виде

$$L = r_1 \sqrt[3]{\frac{\rho_n}{\rho_{\Pi} \rho_n}}. \quad (2)$$

В работе [8] толщина модифицированного поверхностного слоя кристалла оценивается уравнением

$$S_{\text{пл}} = 0,5L_n; \quad (3)$$

$$L_n = \frac{230}{\sqrt{\theta_D}}, \quad (4)$$

где L_n – размер частицы, обладающей наносвойствами;

θ_D – температура Дебая.

При рассмотрении нанокомпозиционных материалов как кластерных систем для случая идеального расположения наночастиц наполнителя в объеме полимерной (олигомерной) матрицы толщина модифицированного слоя определяется уравнением

$$h = r - \frac{1}{\sqrt[3]{2n}}, \quad (5)$$

где n – плотность частиц наполнителя.

Приведенные выше уравнения предложены для объемных объектов, поэтому представляет интерес рассмотреть возможность их применимости для тонкослойных систем, толщина которых не превышает 10 мкм.

Целью данной работы является изучение структуры физико-механических характеристик тонкослойных покрытий, сформированных из жидкой фазы и модифицированных нанодисперсными частицами различной активности.

Для получения тонкопленочных покрытий применяли 1–2%-ный раствор в хладоне-137 фторсодержащих олигомеров (ФСО), выпускаемых под торговой маркой «Фолеокс», имеющих общую структурную формулу $R_f - R_n$ (R_f – фторсодержащий радикал, R_n – концевая группа). Исследуемые олигомеры имели различную молекулярную массу от 2 до 5 тыс. единиц и строение концевых групп [1].

Основное внимание в ходе исследований уделяли олигомерам марок Ф1 и Ф14, резко различающихся по полярности, обусловленной концевыми группами – $COOH$ и CF_3 . В качестве подложек использовали медь М-1, сталь 08кп, стекло, алюминий А99. Модифицирование фторсодержащих олигомеров проводили в жидкой фазе ультрадисперсными кластерами алмазосодержащего графита (УДАГ). Данный модификатор получают по взрывной технологии с отрицательным кислородным балансом, удельная поверхность данных частиц составляет $300 \pm 30 \text{ м}^2/\text{г}$, а размер первичных монокристаллов составляет 4–8 нм [10].

Для модифицирования фторсодержащих покрытий использовали как «шихту» – смесь продуктов взрыва, из которой кислотной обработкой при повышенных температурах выделяют ультрадисперсные кластеры алмаза, так и сами наночастицы алмаза. Для достижения гомогенности распределения частиц по объему раствора фторсодержащих олигомеров использовали ультразвуковую обработку раствора фторсодержащего олигомера. Содержание нанодисперсного модификатора в растворе ФСО составляло от 0,1 мас.% до 3 мас.% по сухому остатку.

Для придания нанофазным композиционным фторсодержащим покрытиям повышенных эксплуатационных характеристик проводили термообработку при $T = 373 \text{ К}$, 473 К , 523 К в течение 1 часа. Исследование морфологии тонкослойных покрытий проводили с помощью атомно-силового микроскопа NT-206 производства «Микротестмашины» г. Гомель. Физико-механические характеристики покрытий определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

На рис. 4 представлены АСМ-изображения наноконпозиционных тонкослойных фторсодержащих покрытий, сформированных при различных технологических режимах.

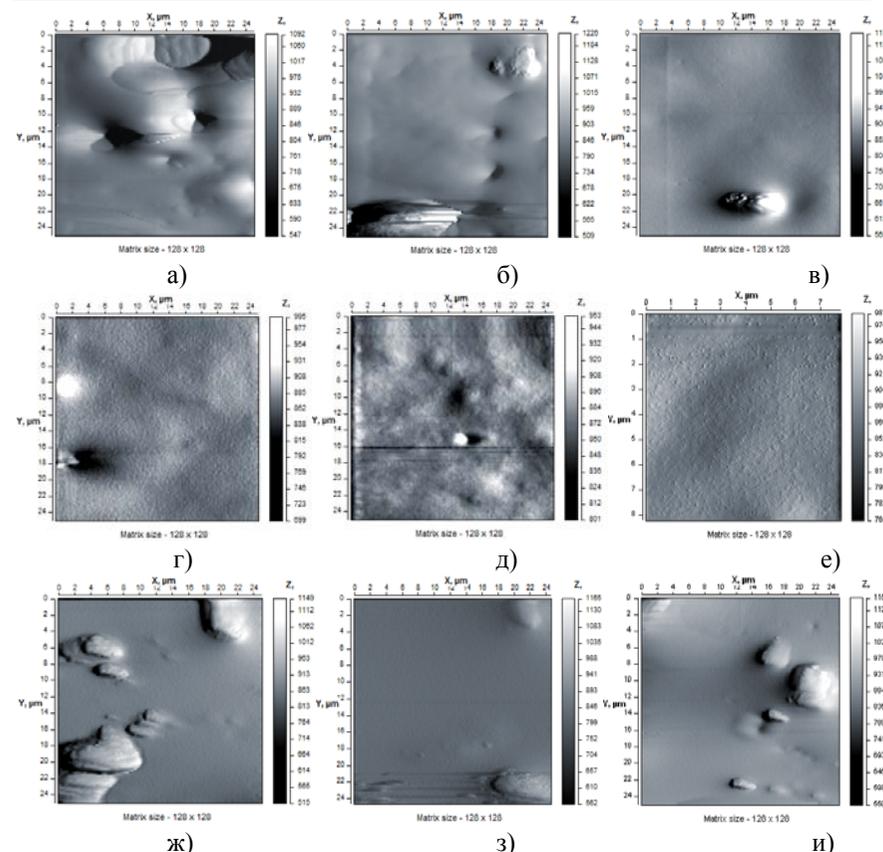


Рисунок 4 - Морфология наноконпозиционных покрытий, сформированных на твердых подложках различной природы и при различных воздействиях технологических факторов: а – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 3% шихты; б – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 1% шихты; в – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 0,5% шихты; г – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 0,3% шихты; д – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 0,1% шихты; е – медная подложка с покрытием ФСО Ф1; ж – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 0,3% шихты, термообработка при $T = 373 \text{ К}$ в течение 60 минут; з – медная подложка с покрытием ФСО Ф1, содержащим 0,3% шихты, термообработка при $T = 373 \text{ К}$ в течение 60 минут; и – железная подложка с покрытием ФСО Ф1, содержащим 0,3% шихты (окончание см. на с. 214)

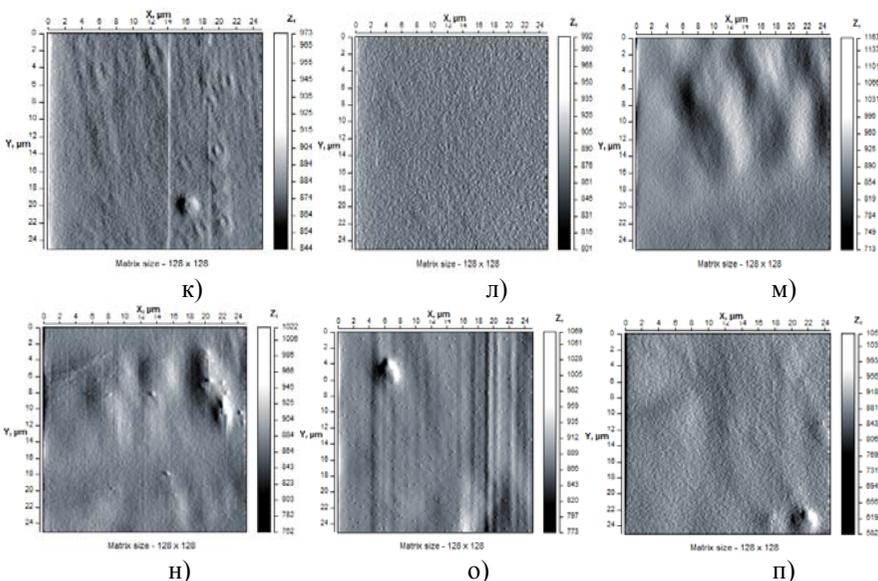


Рисунок 4 - Морфология нанокomпозиционных покрытий, сформированных на твердых подложках различной природы и при различных воздействиях технологических факторов: к – стеклянная подложка с покрытием ФСО Ф1, содержащим 1% шихты; л – стеклянная подложка с покрытием ФСО Ф1, содержащим 1% УДА; м – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 1% УДА; н – медная подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 1% шихты; о – алюминиевая подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 1% шихты; п – алюминиевая подложка с покрытием ФСО Ф14, содержащим 1% УДА (начало см на с. 213)

Исходя из полученных данных методом атомно-силовой микроскопии видно, что на морфологию получаемых нанокластеров оказывает существенное влияние тип подложки, полярность применяемого фторсодержащего олигомера, термообработка, концентрация модификатора. В зависимости от выбранного технологического метода модифицирования возможно получение различных по своей морфологии нанокластеров в структуре покрытия, что в конечном результате скажется на физико-механических характеристиках нанокomпозиционных фторсодержащих покрытий.

Проведенные исследования по определению микротвердости нанокomпозиционных покрытий, сформированных на металлических поверхностях, показали, что введение нанодисперсных частиц в структуру фторсодержащих покрытий приводит к неоднозначным результатам по определению прочностных характеристик металлических подложек. При модифицировании покрытия фторсодержащего олигомера, сформированного на алюминиевой подложке, нанодисперсными частицами шихты, значения мик-

ротвердости композиционного покрытия несколько возрастают (табл. 1). Превышение содержания модификатора в покрытии свыше 0,3 мас.% приводит к снижению значений микротвердости по сравнению с покрытием, не содержащим модификатора. Термообработка нанокomпозиционных фторсодержащих покрытий, сформированных на алюминии, приводит к дальнейшему снижению значений микротвердости.

Аналогичная тенденция изменений значений микротвердости наблюдается и для нанокomпозиционных покрытий, сформированных на медной подложке. При формировании фторсодержащих покрытий, модифицированных нанодисперсными частицами шихты, на стальной подложке нанокomпозиционные слои проявляют протекторные свойства, выражающиеся в увеличении значений микротвердости нанокomпозиционных покрытий, в том числе и при проведении термообработки (см. табл. 1).

Таблица 1 - Значения микротвердости металлических подложек, модифицированных фторсодержащим олигомером Ф14 и УДАГ (шихта)

Температура, К	Концентрация шихты, мас. %						Подложки
	исх. покрытие	0,1	0,3	0,5	1	3	
293	44	47	46	33	33	36	Al
373	43	33	35	34	35	35	
473	42	34	36	32	34	34	
523	42	18	17	17	17	18	
293	127	84	84	95	85	84	Cu
373	115	86	92	87	97	78	
473	112	78	72	76	85	68	
523	105	41	38	53	53	54	Fe
293	196	231	241	170	147	221	
373	212	190	192	202	192	212	
473	214	210	238	226	214	228	
523	208	219	224	221	212	228	

Введение нанодисперсных модификаторов приводит к изменению морфологии и физико-механических характеристик покрытий, что связано со структурными изменениями. В работе [8] рассмотрены возможные механизмы трансформирования структуры полимерных матриц. Проведенный анализ представленных уравнений показывает, что для случая тонкослойных покрытий данные выражения дают лишь приблизительную оценку размеров нанокластеров, образованных в покрытии фторсодержащих олигомеров при модифицировании УДАГ и шихтой (табл. 2). Возможно пред-

положить, что кластерные структуры, образующиеся при модифицировании тонкослойных покрытий фторсодержащих олигомеров, состоят из нескольких дисперсных частиц, вокруг которых происходит образование нанокластера, или данные кластеры взаимодействуют друг с другом с образованием более крупных агрегатных структур. Данное предположение подтверждается исследованиями, проведенными методом атомно-силовой микроскопии, по изучению морфологии данных нанокластеров.

Таблица 2 - Экспериментальные и расчетные размеры нанокластеров, образующихся в модифицированных наночастицами покрытиях фторсодержащих олигомеров, формируемых на металлических подложках

Размер нанокластера, рассчитанного из уравнения 1			Размер нанокластера	Размер нанокластера	Размер нанокластера, определенного методом АСМ		
0,1 мас. %	0,5 мас. %	3 мас. %			0,1 мас. %	0,5 мас. %	3 мас. %
114 нм	79 нм	57,2 нм	27,78	59,9 нм	1×1 мкм	2×6 мкм	3×4 мкм

Исходя из данных АСМ, полученных в режиме обработки «Профиль», показали, что изучаемый кластер размером ~2,5 мкм состоит из трех более мелких по размеру кластеров размерами от 0,2 до 1,5 мкм (рис. 5).

Для описания данных структур возможно предложить модель формирования нанокластерных агломератов, представленную на рис. 6.

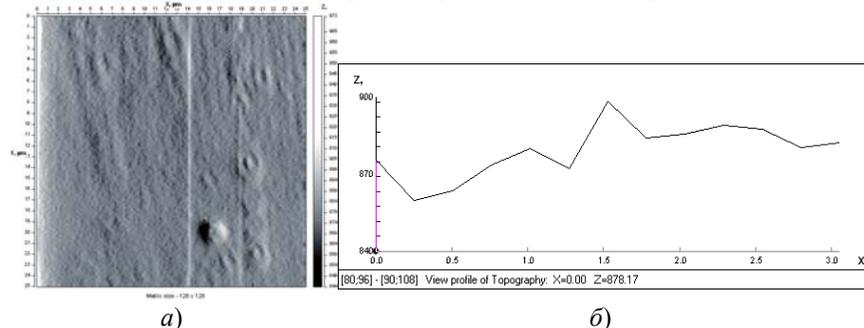


Рисунок 5 - Морфология нанокластера в покрытии фторсодержащего олигомера, сформированного на поверхности стекла: а – морфология; б – топография

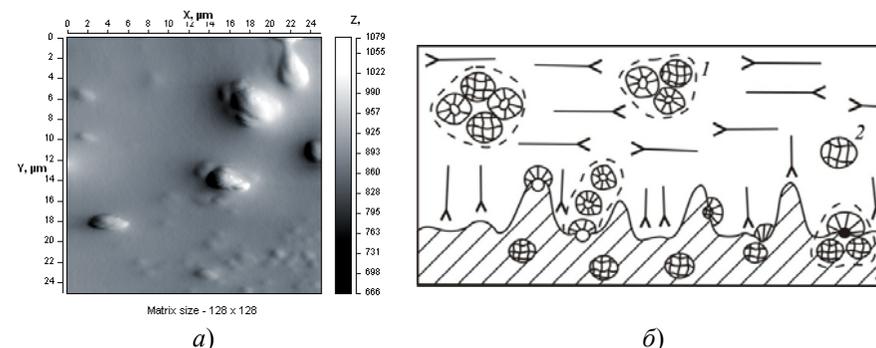


Рисунок 6 - Морфология (а) и схема строения (б) фторсодержащих покрытий, наполненных наночастицами, в том числе подвергнутых энергетическому воздействию: 1 – нанокластерный агломерат; 2 – нанокластер; 3 – подложка

Более точное определение размеров нанокластерных структур, образуемых при модифицировании, возможно получить, учитывая количество наночастиц в данном нанофазном кластере и зарядовую активность поверхностных слоев подложек, на которых формируются нанокластерные структуры.

Таким образом, формулу (1) можно представить в виде

$$L = nr_1^3 \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{П} C_m}} + C, \tag{6}$$

где n – количество нанодисперсных частиц в кластере;

C – размерный параметр, учитывающий влияние зарядовой активности поверхности подложки на размер нанокластерной структуры [11].

Исходя из проведенных данных исследований установлено синергическое влияние заряда нанодисперсной частицы и зарядовой мозаики твердой поверхности на морфологию формируемых нанокластерных структур в покрытии фторсодержащего олигомера. Основными параметрами, оказывающими влияние на морфологию нанофазных кластеров и физико-механические характеристики нанокластерных фторсодержащих покрытий, являются: тип заряда частицы наномодификатора; строение молекулы олигомера; технологические факторы, используемые при формировании покрытия (концентрация модификатора, температура).

Список литературы

1. Овчинников Е.В., Струк В.А., Губанов В.А. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров: основы синтеза, свойства и применение. Гродно: Изд-во ГГАУ, 2007. 326 с.
2. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов. Ч.1. Модельные представления / С.В. Авдейчик, В.И. Кравченко, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, Е.В. Овчинников, В.А. Струк. Гродно: Изд-во ГГАУ, 2007. 318 с.
3. Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития / В.И. Кравченко, А.А. Дудук, В.А. Струк [и др.]. Гродно: Изд-во ГГАУ, 2008. 418 с.

4. Руководство по эксплуатации атомно-силового микроскопа NT-206. Гомель: ОДО «Микротестмашины», 2005. 65 с.
5. Gibson G.A., Schultz S. // Appl. Phys. 73, 9, 4516 (1993).
6. Dahlberg E.D., Zhu J.G. // Phys. Today 4, 34 (1995).
7. О механизме формирования фторсодержащих ингибиторов изнашивания на металлических подложках / Е.В. Овчинников, В.А. Струк, В.А. Лиопо, А.А. Рыскулов, В.И.Кравченко // Композиционные материалы в промышленности. Трубопроводы из полимерных композиционных материалов: изготовление, проектирование, строительство, эксплуатация: материалы XXIX Международной конференции и семинара, 1–5 июня 2009 г., Ялта. Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2009. С. 442–450.
8. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик, В.А. Лиопо, В.Я. Прушак, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. Минск: Технология. 2006. 427 с.
9. Особенности строения полимерных композитов, модифицированных углеродными добавками / В.А. Лиопо, В.А. Струк, Е.В. Овчинников, Л.В. Михайлова // Вестник ГрГУ. Серия 2. 2000. Т. 3, №1. С. 47–53.
10. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. СПб.: Изд-во СПвГПУ, 2003. 344 с.
11. Тонкие пленки воды: особенности структуры и диэлектрических характеристик / В.А. Лиопо, С.В. Авдейчик, Л.В. Михайлова, А.С. Воронцов // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы IX ежегодной Международной конференции, 9–13 февраля 2009 г., п. Славское, Карпаты. Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2009. С. 38–42.

УДК 621.793

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОПТИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

*Ващенко В.А., Яценко И.В., Коваленко Ю.И.,
Рева И.А., Бойко В.П.*

Черкасский государственный технологический университет, Украина

В работе показаны преимущества применения метода атомно-силового микроскопии для измерения микрогеометрических характеристик наноразмерных оксидных покрытий на поверхностях оптических диэлектриков, а также установлены особенности применения режимов работы атомно-силового микроскопа.

Тонкие оксидные пленки и композиции на их основе широко используются в точном приборостроении, машиностроении, энергетике, ресурсо- и энергосбережении, медицине, микроэлектронике, криогенной технике, оптике и оптоэлектронике, в космической и атомной промышленности, а также в других отраслях новой техники.

Большинство областей практического применения таких пленок и композиций основано на специфике их свойств, которые существенно отли-

чаются от характеристик тех же материалов в обычном (макро) состоянии. Это создает возможность существенно улучшать физико-технические параметры материалов и приборов и открывает перспективы для создания материалов новой техники. Однако особенности фазовых и структурных состояний вещества в многослойных оксидных покрытиях нанометрических размеров создают большие технологические и эксплуатационные трудности, связанные с нестабильностью свойств во времени и в процессе эксплуатации, а также в связи с недостаточной их воспроизводимостью, повышением брака и тому подобных проблем.

Еще большие сложности возникают при попытках создания и исследования микрогеометрии таких наноразмерных оксидных покрытий на диэлектрике.

С этой целью коллективом Международного учебно-научного Центра «Микронанотехнологии и оборудование», действующего при кафедре физики Черкасского государственного технологического университета, был использован метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), к основным преимуществам которого относятся: высокая точность измерения (порядка 0,1 нм) при высоте измеряемого рельефа в пределах до 3 мкм; высокая экспрессность метода (длительность полного цикла измерений в пределах 3...5 мин).

Однако использование данного метода для определения микрогеометрических характеристик наноразмерных оксидных покрытий на поверхностях оптических диэлектриков ограничивается рядом особенностей самого метода. Основной трудностью использования метода АСМ является тот факт, что значение микротвердости поверхности диэлектрика, на котором формируется оксидное покрытие, соизмеримо с микротвердостью материала самого зонда (которая составляет порядка 85 Шор).

При этом, учитывая, что толщина наноразмерного покрытия не превышает нескольких десятков нанометров, точность получения микрогеометрических характеристик этих покрытий таким способом уменьшается на 25–30%, что значительно ухудшает возможности метода АСМ.

Поэтому качественное и высокоточное определение микрогеометрических характеристик наноразмерных оксидных покрытий на поверхностях оптических диэлектриков методом атомно-силовой микроскопии является задачей актуальной.

Целью исследования является повышение точности определения микрогеометрических характеристик наноразмерных оксидных покрытий на поверхностях оптических диэлектриков с применением метода атомно-силовой микроскопии путем управления режимами работы АСМ.

Для достижения поставленной цели был проведен ряд экспериментальных исследований с использованием атомно-силового микроскопа NT-206 (изготовитель ОДО «Микротестмашины», Беларусь).

В результате исследований наноразмерных оксидных покрытий Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , которые наносились на поверхности образцов из оптического

стекла марок К8, BK10 термовакuumным методом, было установлено, что использование бесконтактного (динамического) режима работы АСМ позволяет получать высокоточные характеристики микрогеометрии поверхностей тонких оксидных покрытий (рис. 1). Однако, учитывая высокую абсорбционную способность некоторых оксидных покрытий, а также их специфические свойства (например, высокую гидрофобность покрытий TiO₂), приводящие к образованию на поверхностях этих покрытий остатков влаги, пыли и органических веществ, данный режим не может обеспечить высокую точность и идентичность в определении микрогеометрии поверхности. В то же время использование контактного (статического) режима работы прибора позволяет избежать этих проблем.

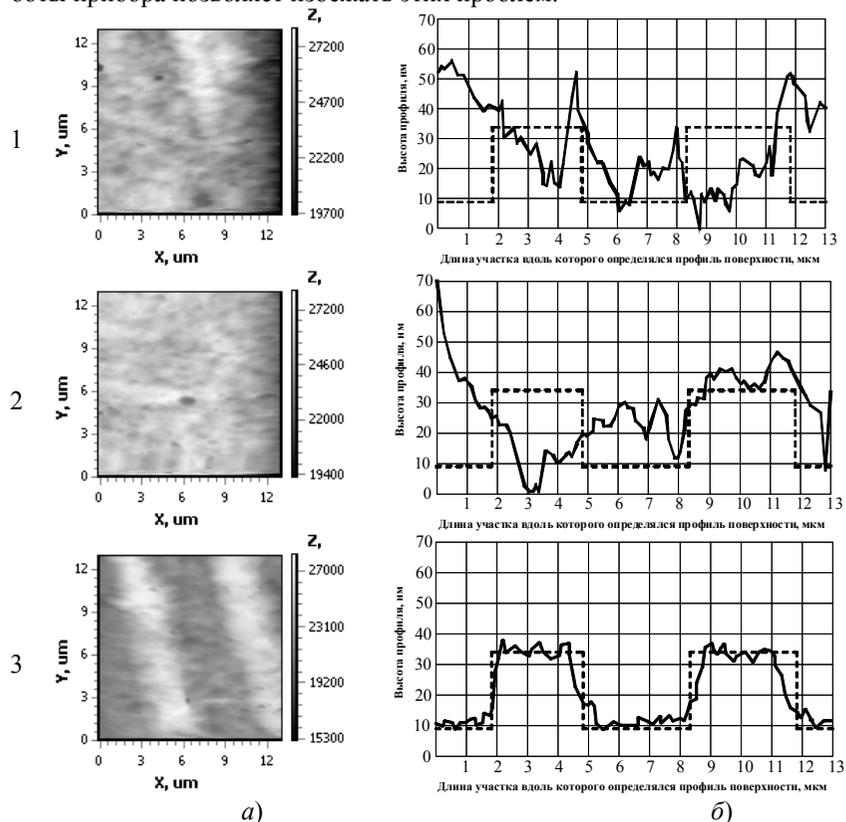


Рисунок 1 - Топограмма (а) и профилограмма (б) поверхности образцов из оптического стекла К8 с наноразмерным оксидным покрытием TiO₂ на их поверхностях (дифракционная решетка): 1 – в динамическом режиме; 2 – в статическом режиме; 3 – после обработки в программе SurfaceView (пунктиром отмечен реальный профиль вдоль поверхности)

Однако высокая жесткость консоли (на которой крепится зонд прибора) в данном режиме, а также наличие на исследуемых поверхностях участков с высокой вязкостью и низкой адгезионной прочностью не позволяют получать высококачественную картину распределения микрогеометрических характеристик поверхности.

Выход из сложившейся ситуации осуществляется путем использования возможностей специализированной программы SurfaceView, предназначенной для обработки топограмм, полученных при сканировании поверхностей на АСМ, а именно – функцией данной программы – Compare. Это позволяет получить качественную и высокоточную (отклонение от реального профиля поверхности не более 1,5%) картину распределения микрогеометрии по поверхности оксидных покрытий на поверхностях из оптических диэлектриков.

Таким образом, в результате проведения экспериментальных исследований было установлено, что использование комбинации динамического и статического режимов работы АСМ с последующей обработкой полученных сканограмм в специализированной программе SurfaceView с применением функции Compare позволяет получать качественную и высокоточную картину распределения микрогеометрии (отклонение от реального профиля поверхности не более 1,5%) по поверхности оксидных покрытий на поверхностях из оптических диэлектриков.

УДК 621.794
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

Бигус Г.А., Галкин Д.И.

Федеральное государственное учреждение "Научно-учебный центр "Сварка и контроль" при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены различные повреждения металла в процессе малоциклового нагружения.

Одной из важнейших особенностей длительно эксплуатируемых трубопроводов является их естественное старение. Старение – многофакторный процесс, который выражается в том, что все материалы, из которых сделаны трубопроводы, постепенно теряют свои эксплуатационные характеристики. Это проявляется в охрупчивании, а в ряде случаев и растрескивании металла труб и сварных соединений, эксплуатируемых, как правило, в условиях малоциклового нагружения [1].

Накопление повреждений металла в основном происходит на концентраторах напряжений, какими являются сварные швы, строительномонтажные дефекты, механические повреждения. Однако в настоящее

время отсутствуют объективные и физически обоснованные методы экспресс-оценки уровня накопленных в процессе циклического нагружения усталостных повреждений, что во многом затрудняет задачу корректного определения остаточного ресурса.

Предсказание остаточного ресурса на основе теоретических рассуждений даже при известных механических характеристиках материала носит вероятностный характер. При этом величина ошибки расчетов может в несколько раз отличаться от реального числа циклов до разрушения. Таким образом, вопрос об экспериментальном безобразцовом определении показателя поврежденности в настоящее время является актуальным.

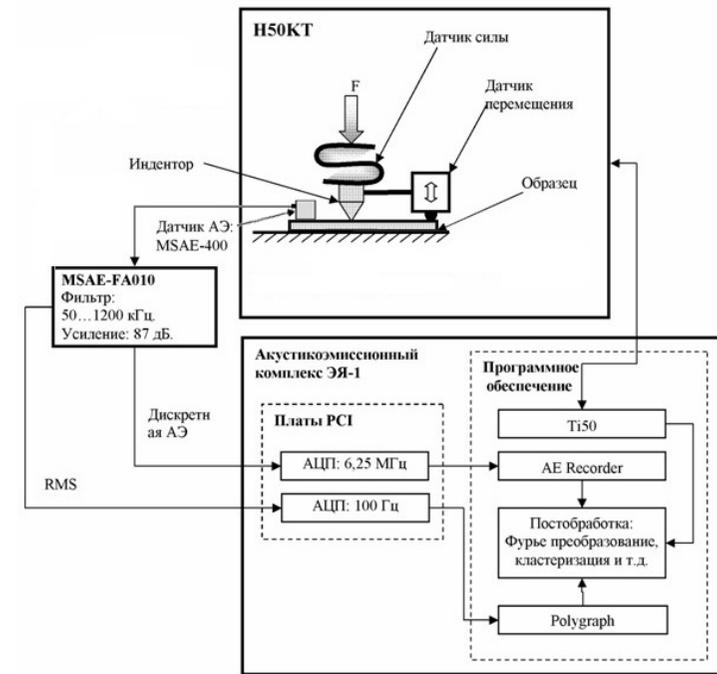
Одним из перспективных методов оценки поврежденности является метод акустической эмиссии (АЭ). В настоящее время этот метод в основном используется как способ обнаружения активно развивающихся на момент нагружения дефектов. Однако в данном случае не используются потенциальные возможности метода, которые заключаются в том, что метод АЭ позволяет обнаруживать источники с энергией до 10^{-16} Дж, которые соответствуют движению отдельных групп дислокаций [2]. Таким образом, метод можно применить для оценки дислокационной структуры материала, при этом отслеживаться будут не статические параметры, а динамические, такие как подвижность дислокаций. Однако просто расположить датчики АЭ на объекте контроля и зафиксировать на фоне шумов единичные малоэнергетические источники, связанные с процессами на дислокационном уровне, будет невозможно. Необходимо инициировать срабатывание этих источников в локальной зоне. В данной работе, как и в исследованиях [3, 4], это было сделано за счет пластической деформации, протекающей при индентировании в зонах, непосредственно расположенных под индентором. Схема проведения испытаний и общий вид установки приведены на рисунке 1.

Для проведения эксперимента по исследованию влияния степени поврежденности на параметры АЭ были выбраны образцы, вырезанные из основного металла и заводских сварных соединений труб 426 толщиной 7,0; 8,0 мм.

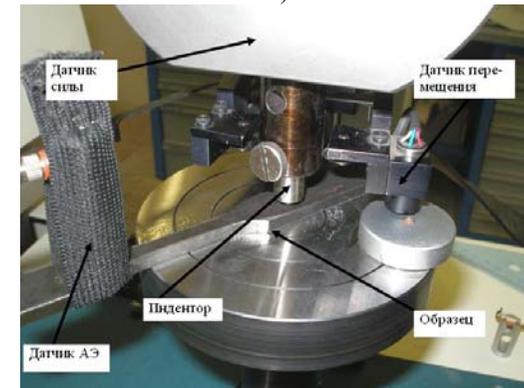
Трубы были изготовлены ОАО «ВМЗ», сварные соединения были подвергнуты локальной термической обработке типа нормализация. Впоследствии образцы были разрушены при статических и динамических испытаниях.

Параметры нагружения наиболее характерных образцов, вырезанных из основного металла, представлены в таблице.

Интересным является тот факт, что образцы из одной партии при одинаковых режимах циклического нагружения выдержали различное число циклов, отличающееся почти в пять раз.



а)



б)

Рисунок 1 - Схема проведения испытаний (а); общий вид установки (б)

Таблица 1 - Параметры нагружения образцов, вырезанных из основного металла

Шифр образца	№ партии	Параметры нагружения	Разрушение
А	3386	Одноосное растяжение	Разрушен
Б	3452	Отнулевой цикл: амплитуда нагружения – $\sigma_{max} = 1,2 \sigma_T$; частота нагружения – 20 Гц количество циклов - 3400	Разрушен
В		Отнулевой цикл: амплитуда нагружения – $\sigma_{max} = 1,2 \sigma_T$; частота нагружения – 20 Гц; количество циклов – 16000	Разрушен

При проведении испытаний было выявлено, что наиболее чувствительным к поврежденности металла параметром АЭ является форма спектра возникающих сигналов.

При исследовании образца, разрушенного при одноосном растяжении, наблюдалось [5]:

1. Уменьшение количества сигналов по мере приближения участка индентирования к месту разрушения. Данный факт подтверждает то, что при индентировании срабатывают именно источники дислокационной природы.

2. Спектральный образ сигналов АЭ не изменялся в зависимости от участка индентирования (рис. 2).

На разрушенных при циклике образцах по мере приближения к зоне разрушения в спектральном образе появлялся дополнительный пик, смещенный в сторону высоких частот. При приближении к месту индентирования пик смещался вверх и вправо (см. рис. 2).

При испытаниях по схеме: циклическое нагружения образца, измерение параметров АЭ при индентировании, последующее разрушение образца при циклике было отмечено, что появление второго пика соответствует уровню 70–80% поврежденности.

Для образцов сварных соединений были также проведены подобные испытания. Было отмечено, что при увеличении поврежденности сварных соединений наблюдаются аналогичные изменения спектральных образов, как и у основного металла.

Большинство образцов разрушалось по основному металлу, что свидетельствовало об удовлетворительном качестве выполненных сварных соединений. Однако ряд образцов из одной партии разрушился по сварному шву.

На рис. 3 представлен подобный еще не разрушенный образец после нагружения 10000 циклов.

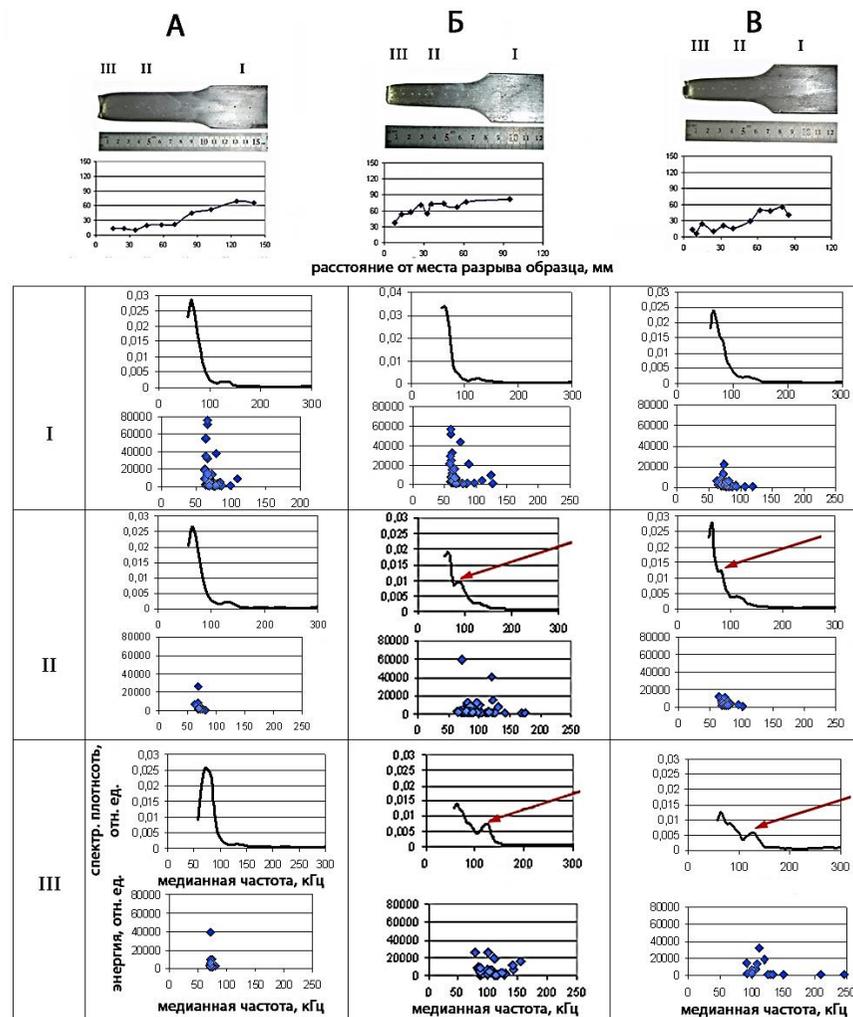


Рисунок 2 - Спектральные образы сигналов АЭ, возникающих при индентировании, в зонах с различной поврежденностью основного металла: I – зона захвата (неповрежденный металл); II – зона пластического деформирования; III – зона разрушения

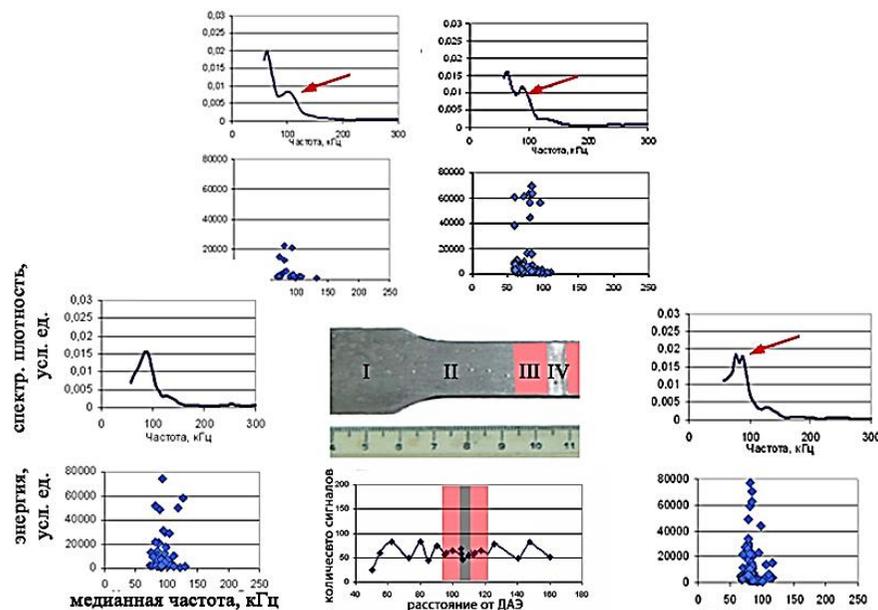


Рисунок 3 - Спектральные образы сигналов АЭ, возникающих при индентировании, в зонах с различной поврежденностью основного металла и сварного соединения: I – зона захвата (неповрежденный металл); II – зона пластического деформирования; III – зона термического влияния; IV – зона сварного шва

Из анализа спектральных образов, приведенных на рис. 3, видно, что сварной шов поврежден наиболее сильно, поэтому разрушение следует ожидать именно по нему, что и наблюдалось при продолжении нагружения. Следует отметить, что данные сварные соединения были допущены к эксплуатации по результатам заводского контроля.

Применение метода АЭ совместно с кинетическим индентированием, по крайней мере, качественно, позволяет судить об изменении структурного состояния металла под действием циклически изменяющихся нагрузок. То есть существует принципиальная возможность создания на этой основе безобразцовой методики оценки (контроля) состояния металла трубопроводов. Такая методика предполагает наличие «атласа акустических образов» (эталонов) металла основы и сварных соединений в исходном («нормальном») состоянии. При этом в качестве критерия оценки степени поврежденности материала (в том числе от усталости) может быть принята «степень искаженности», т.е. параметр, показывающий в количественной мере, насколько спектр регистрируемых сигналов АЭ отличается от эталонных. Кроме того, следует учитывать, в какую сторону направлены эти изменения: чем более выражена высокочастотная составляющая в спектрах

АЭ, тем больше должно быть оснований для тревоги и привлечения других методов контроля состояния материала.

Список литературы

1. Гумеров К.М. Обеспечение безопасности длительно эксплуатируемых нефтепроводов регламентацией периодичности диагностики и совершенствованием технологии их ремонта: дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2001.
2. Буйло С.И. Связь параметров акустического излучения дефектов структуры со стадийностью процессов деформации твердых тел // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. 2006.
3. Мерсон Д.Л., Черняева Е.В., Мещеряков Д.Е. Совмещение методов акустической миссии и индентирования как эффективная методика экспресс-контроля текущего состояния материалов и покрытий // Материалы в автомобилестроении. Ч. 1. Металлические материалы: сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. (19–20 июня 2008 г.). Тольятти, 2008. С. 482–489.
4. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л. Спектральный анализ акустической эмиссии как перспективный метод оценки состояния материалов // Перспективные технологии и методы контроля. Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2009. С. 316–359.
5. Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля состояния основного металла и сварных соединений трубопроводов, работающих в условиях малоциклового усталости / Е.В. Черняева, Д.И. Галкин, Д.Л. Мерсон, Г.А. Бигус // Сварка и диагностика. 2010. №2. С. 50–57.

УДК 669.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ УРОВНЕ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА
Гибаленко А.Н.

*ОАО «Укрниипроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского»,
Макеевка (Украина)*

Изучены показатели долговечности стальных конструкций при коррозионной опасности промышленного объекта.

Нормативные требования к показателям качества и долговечности строительных металлоконструкций в коррозионных средах включают соблюдение действующих стандартов Единой системы защиты от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСЗКС) при технологических процессах. Европейские нормы проектирования (EN ISO 12944, ISO 8501...8504) определяют требования к обоснованию мер противокоррозионной защиты на протяжении срока службы, оговоренного техническими условиями, что обуславливает выполнение менеджмента качества противокоррозионной защиты на основе оценки предельных состояний для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений.

Используемый методический подход позволяет предусмотреть меры противокоррозионной защиты при конструкторской подготовке производства стальных конструкций в соответствии с требованиями международ-

ных стандартов ISO 9001:2000, EN ISO 12944:1998 и OHSAS 18001:1999 [1, 2]. Полученные при этом количественные показатели характеризуют средства и методы противокоррозионной защиты при заданных требованиях надежности стальных конструкций в коррозионных средах и позволяют регламентировать требования по рациональному конструированию и технологическому обеспечению с учетом показателей технологической безопасности для различной степени агрессивности воздействий.

Анализ современных требований к средствам и методам противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций, выполненная систематизация признаков классификации агрессивных сред и показателей коррозионной стойкости сталей с учетом характера и степени агрессивности воздействий показывают, что проблема недостаточного ресурса конструкций, эксплуатирующихся в средах с различной степенью агрессивности, в значительной мере связана с отсутствием методического обоснования проектных и технологических решений первичной и вторичной защиты от коррозии по показателям надежности и условиям безопасности строительных объектов [3, 4].

Для подтверждения соответствия эксплуатационных показателей качества противокоррозионной защиты установленным параметрам конструкторской и технологической документации производится научно-техническое сопровождение показателей технологической безопасности для обеспечения гарантированной долговечности на стадии изготовления и монтажа в условиях заводов металлоконструкций и строительномонтажных организаций.

Определение требований к первичной и вторичной защите производится при согласовании с заказчиком типовой модели эксплуатации, применительно к которой разрабатывается номенклатура показателей надежности (на стадии технического задания). Устанавливаются основные этапы конструкторской подготовки производства, связанные с анализом возможностей первичной защиты на стадии КМ и требований по коррозионной стойкости в рабочих чертежах КМД. При выборе средств вторичной защиты учитываются показатели технологической рациональности, связанные с условиями изготовления, монтажа и эксплуатации [5].

Схема показателей надежности в виде потоково-графовой модели описывает изменения коррозионного состояния стальных конструкций с учетом конструктивных и технологических вариантов противокоррозионной защиты при обслуживании объектов по фактическому состоянию в течение установленного срока службы.

Структура показателей долговечности стальных конструкций в коррозионных средах включает расчетно-экспериментальную оценку, технический контроль и диагностику эксплуатационных свойств на протяжении жизненного цикла стальных конструкций (рис.).

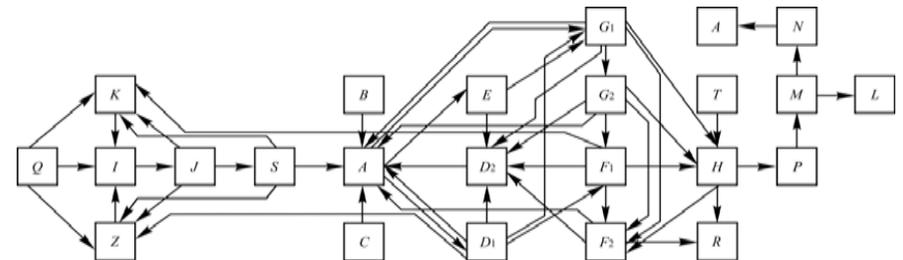


Рисунок 1 - Обобщенная структурная модель расчетных требований по коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности при изготовлении стальных конструкций

Расчет на коррозионную стойкость связан с учетом мер первичной и вторичной защиты на основе признаков предельных состояний. Расчет показателей коррозионной стойкости, ремонтпригодности и долговечности выполняется по расчетным схемам и данным таблиц ведомости элементов чертежей КМ.

Расчетные зависимости для обоснования конструктивных решений первичной и вторичной защиты на стадии КМД имеют следующий вид:

I предельное состояние:

$$\Phi/N + (1 - \gamma_{zk}) \leq \Gamma/\gamma_{sf}; \tag{1}$$

$$(1 - \gamma_{zn}) \cdot A \cdot T_n^c \leq m \cdot (1 - 1/\Gamma). \tag{2}$$

II предельное состояние:

$$F_e = \left(\frac{\Gamma}{\gamma_{zf}} - \frac{\Gamma/\gamma_{zk} + 1/\Gamma}{2} \right)^2; \tag{3}$$

$$T_{z\gamma} \geq \gamma_{zn} \cdot T_z. \tag{4}$$

Проводится анализ влияния конструктивных и технологических особенностей, технологической подготовки работ при изготовлении, монтаже, эксплуатации металлических конструкций на основании методики расчета коэффициента надежности γ_{zn} по результатам оценки показателей технологической рациональности противокоррозионной защиты при проектировании, изготовлении, эксплуатации и реконструкции.

Технологическая рациональность противокоррозионной защиты включает требования к выбору средств и методов защиты с учетом целесообразности и технологической преемственности технических решений на всех стадиях жизненного цикла строительных металлоконструкций.

Статистическая оценка обобщенного показателя технологической рациональности выполняется на основе математической модели вида

$$B_{oz} = \sum_{i=1}^{i=N} B_i = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=p} m_i b_{ij} \left(\sum_{c=1}^{c=a} q_{ij} / 100 \cdot Q \right). \quad (5)$$

Обоснование эффективности защиты строительных конструкций и сооружений от коррозии с учетом положений действующих норм СНиП 2.03.11-85*, СНиП 3.04.03-86 предлагается производить согласно разработанной методики с учетом коэффициента готовности стальных конструкций. Задача определения коэффициента готовности при воздействиях агрессивных сред сформулирована как расчет стальных конструкций по предельным состояниям на коррозионную стойкость и долговечность по результатам ускоренных коррозионных испытаний защитных покрытий [6].

Коэффициент готовности стальных конструкций (K_g) является показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты в зависимости от $T_{к\gamma}$ – срока службы по показателю коррозионной стойкости (первичная защита); $T_{z\gamma}$ – расчетного срока службы защитных покрытий; n – количество ремонтных циклов возобновления защиты:

$$K_g = \frac{T_{к\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{к\gamma} + nT_{z\gamma}}. \quad (6)$$

Разработанный методический подход использован при разработке мероприятий обеспечения требуемой долговечности и эксплуатационной пригодности металлоконструкций сооружения трубы (высотой 120 м), переназначенной для отвода отработанных газов в условиях производства элементарной серы АО «Укртатнафта».

Выполнение комплекса строительно-монтажных работ осуществляется строительно-монтажным участком ООО фирмы «Промбудремонт» согласно проекту ОАО «УкрНИИПСК им. В.Н. Шимановского» при разработке и сопровождении технологии выполнения противокоррозионной защиты конструкций.

Обеспечение показателей долговечности вторичной защиты обеспечивается использованием рулонного армированного материала ТехноПластРулон по слою ТехноПластПаста, наносимого на подготовленную внутреннюю поверхность металлоконструкций трубы. Обеспечение противокоррозионной защиты наружной поверхности выполняется нанесением эмали КО-811. Решетчатые конструкции башни покрываются системой защитного покрытия MC-Miozinc + MC-Aluminum.

Выполненные организационно-технические мероприятия обеспечивают взаимовыгодные отношения между заказчиком, производителем на основе принципов менеджмента качества противокоррозионной защиты, являющихся основой для обоснования гарантированных показателей коррозионной стойкости и долговечности при изготовлении, монтаже и эксплуатации металлоконструкций.

Список литературы

1. ISO 12944:1998. Лаки и краски – защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий. М., 1998.
2. ISO 8501...8504. Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. М., 2004.
3. Шимановский О.В., Корольов В.П. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій // Промислове будівництво та інженерні споруди. 2008. №1. С. 4–9.
4. Королёв В.П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность // Научные труды ДГАСА. Вып. 1. Макеевка: РИС ОМС ДГАСА, 1995. 108 с.
5. СНиП 2.03.11-85*. Защита строительных конструкций от коррозии. М.: Госстандарт России, 1986.
6. ГОСТ 9.401-91. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. М.: Издво стандартов, 1991.

УДК 621.793

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ НЕСПЛОШНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Бондаренко М.А., Ващенко В.А., Рева И.А.,

Бондаренко Ю.Ю., Канашевич Г.В., Рудь М.П., Яценко И.В.

Черкасский государственный технологический университет, Украина

В работе показаны преимущества применения метода атомно-силовой микроскопии для измерения толщины тонких (до 3 мкм) несплошных покрытий, наносимых на диэлектрические поверхности (оптическое стекло К8, пьезоэлектрическую керамику ЦТС-19) термовакuumным методом.

Тонкие несплошные покрытия, наносимые на диэлектрические поверхности (в том числе, на изделия из оптического стекла К8 и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19), находят широкое применение в качестве элементов изделий в точном приборостроении, прецизионном машиностроении, нанотехнологии, медицине, микрооптике, нанозлектронике и т.п.

Среди методов получения тонких покрытий можно выделить метод термовакuumного осаждения [1], который наравне с высокой экологической чистотой и экономичностью обладает высокой управляемостью процесса нанесения, точностью и качеством получаемого покрытия.

Наиболее точными методами измерения толщины таких покрытий в процессе их осаждения являются оптические методы, а также метод кварцевого резонатора [2, 3]. Однако основными недостатками этих методов является ограничение в измерении толщины наносимых покрытий на уровне 0,6...0,8 мкм, а также высокая сложность в обслуживании элемен-

тов измерительной системы, что не позволяет использовать эти методы при измерении покрытий толщиной более 1 мкм в процессе многократного одноциклового термовакuumного осаждения.

Среди бесконтактных методов измерения толщины несплошных покрытий наиболее перспективным является метод атомно-силовой микроскопии [4], к основным преимуществам которого относятся:

- высокая точность измерения (порядка 0,1 нм) при высоте измеряемого рельефа в пределах до 3 мкм;
- высокая экспрессность метода (длительность полного цикла измерений в пределах 3...5 мин);
- возможность измерения толщины любых покрытий на диэлектрических поверхностях (как металлических, так и диэлектрических – любой вязкости и твердости).

Поэтому целью работы является разработка методики измерения методом атомно-силовой микроскопии толщины тонких несплошных покрытий на диэлектрических поверхностях.

В ходе эксперимента исследовались образцы из оптического стекла К8 и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 (диски диаметром 20; 35; 50 мм, толщиной 1; 2; 4 мм) с покрытиями (Ni, Ag), нанесенными на их поверхности через съемную маску методом термовакuumного осаждения.

Осаждение покрытий проводилось на модифицированной технологической электронной установке УВН-71 (МННЦ «Микронанотехнологии и оборудование», ЧГТУ, г.Черкассы). Технологический режим термовакuumного осаждения: рабочий вакуум – $0,5 \cdot 10^{-5}$ Па; ток испарителя – 75 А; время осаждения – до 10 с; масса навески – 0,2 г.

Для измерения толщины покрытия был использован метод атомно-силовой микроскопии с применением атомно-силового микроскопа NT-206 (изготовитель ОДО «Микротестмашины», Беларусь). При этом были использованы кремниевые зонды «Ultrasharp CSC12» (изготовитель «Mikromasch», Германия). В состав прибора также входила система микропозиционирования и встроенный оптический длиннофокусирующий микроскоп Logitech (изготовитель «Logitech Inc», США), которые позволяли проводить выбор необходимого участка на поверхности образца.

В процессе проведения экспериментов по измерению толщины нанесенных на диэлектрические поверхности покрытий с применением метода атомно-силовой микроскопии проводилось сканирование по поверхности образца на границе «покрытие – диэлектрическая поверхность». В результате проведенного сканирования получали топограмму и профилограмму вдоль сканированной поверхности (рис. 1).

Полученная профилограмма (см. рис. 1, б) имеет существенное отклонение от реального микропрофиля рельефа поверхности, что связано с непараллельностью исследуемой поверхности и противоположной к ней поверхности образца. Избавиться от этого недостатка возможно путем применения встроенной в специализированную программу исследования

SurfaceExplorer функции нормализации микрорельефа поверхностей, полученным методом атомно-силовой микроскопии (рис. 2).

В результате проведенных экспериментов была установлена средняя толщина наносимых покрытий, которая составила: для образцов из оптического стекла К8 1,08 мкм; для образцов из пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 – 1,55 мкм.

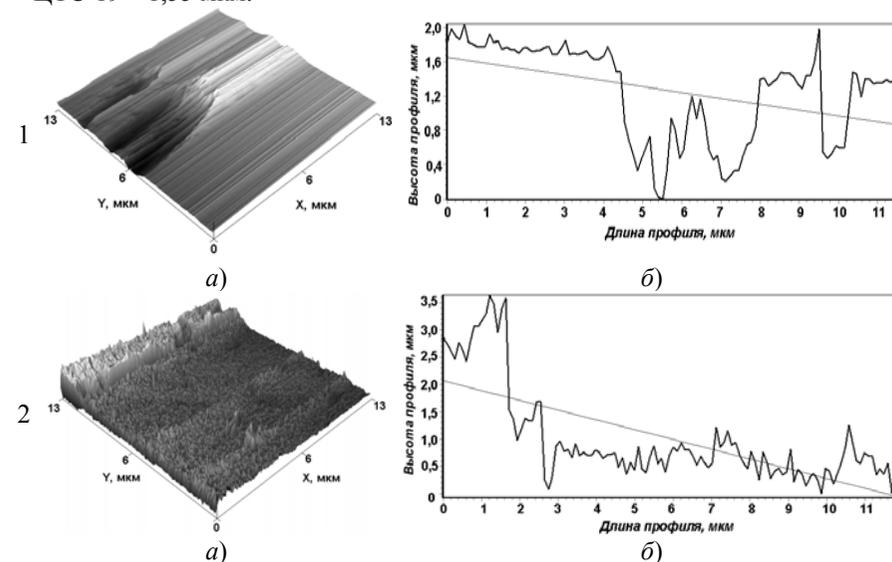


Рисунок 1 - Топограмма (а) и профилограмма (б) поверхности образцов из оптического стекла К8 (1) и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 (2) на границе «покрытие – диэлектрическая поверхность»

Точность измерения толщины для этих образцов составила соответственно: ± 15 нм (для образцов из К8) и ± 35 нм (для образцов из ЦТС-19). Такое расхождение в точности измерения толщины связано, очевидно, со структурой поверхности покрытия и материала образца (так, удельная пористость покрытия Ni составляет 0,075...0,11, а покрытия Ag – 0,06...0,08, тогда как пористость оптического стекла К8 – менее 0,01, а пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 – 22...38).

Проверка толщины полученных покрытий проводилась резонансно-акустическим методом [5] на приборе ИТП-1М и соответственно составляла: для образцов из оптического стекла К8 – 1...1,5 мкм ± 50 нм, для образцов из пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 – 1,2...2,2 мкм ± 50 нм, что подтверждает высокую точность описанной в работе методики измерения толщины тонкого несплошного покрытия на диэлектрических поверхностях.

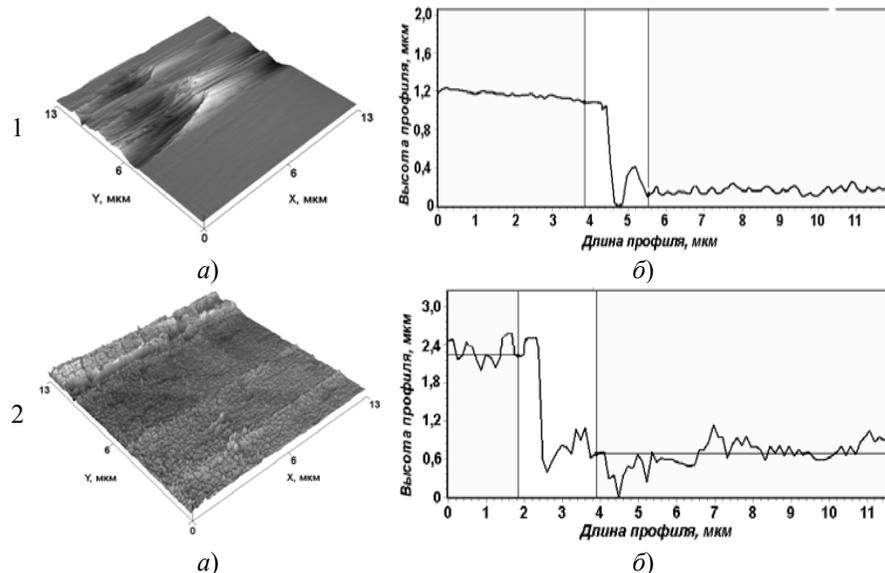


Рисунок 2 - Топограмма (а) и профилограмма (б) поверхности образцов из оптического стекла К8 (1) и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 (2) на границе «покрытие – диэлектрическая поверхность» после нормализации микрорельефа поверхностей

В результате проведенных исследований была разработана методика измерения толщины покрытий методом атомно-силовой микроскопии, апробация которой на образцах из оптического стекла К8 и пьезоэлектрической керамики ЦТС-19 с покрытиями Ni, Ag показала высокую точность данного метода (порядка 15...35 нм) для измерения толщины тонких несплошных покрытий на диэлектрических поверхностях.

Список литературы

1. Формирование упорядоченных наноструктур на пьезоэлектрической керамике системы ЦТС термическим осаждением в вакууме / М.А. Бондаренко, В.А. Ващенко, Ю.Ю. Бондаренко, И.В. Яценко [и др.] // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы Десятой Юбилейной международной промышленной конференции. Карпати, 2010. С. 159–160.
2. Андреев С.В., Губанова Л.А., Путилин Э.С. Оптические покрытия: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2006. 150 с.
3. Бондаренко М.О. Вимірювання товщини тонких композиційних покриттів в процесі їхнього осадження у вакуумі // Приладобудування 2009: стан і перспективи: тези доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2009. С. 122–123.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004. 144 с.

5. Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система / А.И. Андреев, С.В. Мухин, В.В. Некрасов, В.А. Никитенко, А.В. Пауткина; под ред. В.А. Никитенко. М.: Изд-во МГТУ, 2008.

УДК 621.793.7

«КОНСТРУИРОВАНИЕ» ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ Шарифов З.З.

Азербайджанский технический университет, Баку

Разработано принципиально новое направление получения композиционных порошковых материалов на основе железа, заключающееся в нетрадиционном легировании шихты путем использования неметаллических включений в металлизированном виде. В качестве неметаллического включения выбран кокс-отход нефтеперегонных заводов, а в качестве металлического покрытия – медь, получаемая из сульфатных растворов путем электролиза.

Для повышения эксплуатационных характеристик спеченных изделий в исходную шихту вводят добавки различных легирующих элементов. Стремление улучшить комплекс свойств ведет к чрезмерному увеличению их числа, хотя, как известно, добавки наиболее эффективны при содержании их в материалах 0,5–5,0%. Увеличение числа компонентов смеси за счет небольших (по массе) добавок легирующих элементов, часто с резко различающимися свойствами, затрудняет получение качественных спеченных изделий.

Одной из важных операций технологии получения спеченных материалов является смешивание исходных порошков, от качества которого зависит равномерность распределения отдельных компонентов по объему смесей. Последний фактор предопределяет структуру спеченных материалов, от которой, в свою очередь, зависят прочностные свойства, износостойкость и коррозионностойкость.

С целью равномерного распределения небольших количеств легирующего элемента по объему смесей и сокращения числа исходных компонентов предлагается ввести в смесь гранулы кокса в металлизированном, т.е. медненном, виде. Это позволяет в одном порошке объединять 2–3 элемента, влияющих на различные его свойства.

Выбор содержания медненного кокса в интервале 5–15 мас.% обусловлен тем, что при количестве его в шихте менее 5 мас.% эффективность легирования композиции мало заметна, а при содержании его более 15 мас.% материал становится экономически невыгодным вследствие увеличения количества меди в составе. Интервал значения давления прессования 400–1000 МПа является наиболее рабочим в практике порошковой металлургии для материалов на основе железа. Исследование проводилось с использо-

ванием фракции гранул кокса (-315+200) мкм, что является наиболее приемлемой на практике фракцией. Температура спекания составила 1100°C, а изотермическая выдержка при этой температуре 1,0 час. Такой режим спекания считается оптимальным для меднистых порошковых сплавов [1]. Спекание проводили в поддонах под засыпкой отработанного карбюризатора для предотвращения окисления и обезуглероживания материалов.

Следует отметить, что с увеличением содержания медненного кокса в шихте от 5 до 10 мас.% в основном наблюдается рост твердости образцов (рис.1), который связан в большей степени с повышением количества меди в материале. Включения меди, имеющие в основном дендритную форму на гранулах кокса, весьма интенсивно взаимодействуют при спекании с основной материал – железом.

В то же время увеличение содержания медненного кокса в шихте до 15 мас.% не приводит к повышению твердости, что объясняется отрицательным влиянием большого количества кокса на упрочнение материала при спекании.

Одним из основных факторов, определяющих триботехнические характеристики материалов при высокоскоростном трении, является адгезионное взаимодействие между трущимися поверхностями [2, 3]. Поэтому важное значение при разработке композиционных материалов для нагруженных узлов трения имеет правильное легирование твердыми смазками. В этой связи представляет интерес изучить поведение композиционного материала на основе железа, содержащего медненный кокс в количестве 5–15 мас.%.

На рис.2 представлена зависимость коэффициента трения (f) и интенсивности изнашивания (J) спеченных образцов от давления прессования и содержания медненного кокса в шихте.

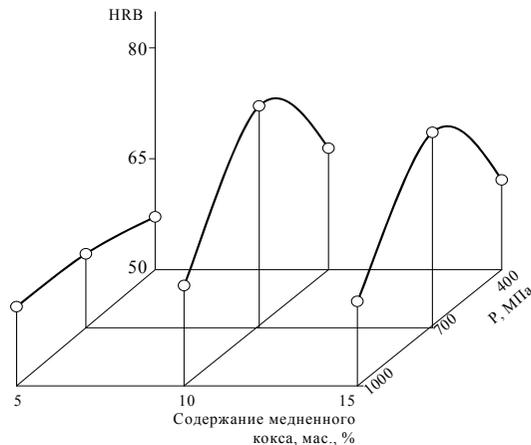


Рисунок 1 - Зависимость твердости спеченных образцов от содержания в шихте медненного кокса и давления прессования

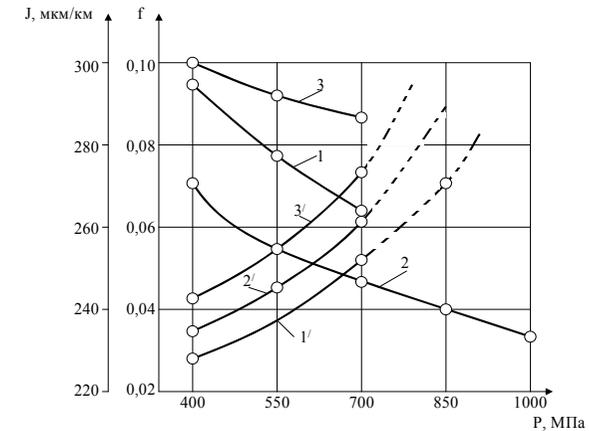


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента трения (1, 2, 3) и интенсивности изнашивания (1', 2', 3') спеченных образцов от давления прессования. Содержание кокса: 1,1' – 5%; 2,2' – 10% и 3,3' – 15% соответственно

Как показывают результаты испытаний, коэффициент трения f образцов снижается с увеличением давления прессования. Самый низкий коэффициент трения f получается на образцах, содержащих 10% медненного кокса. Значительно высокий коэффициент трения f образцов, содержащих 15 мас.% медненного кокса в шихте, по сравнению с другими образцами, противоречит мнению о том, что чем больше содержание твердой смазки, тем меньше должен быть коэффициент трения f. Это объясняется тем, что при 15%-ном содержании медненного кокса в материале пластичные медные включения преобладают над другими, которые переносятся на контртело, повышая коэффициент трения f.

Самые низкие значения J получены для образцов, содержащих минимальное количество (5 мас.%) медненного кокса в шихте. Это обусловлено тем, что при нагрузке трения, равной 4 МПа, большее количество кокса способствует выкрошиванию и интенсивному износу материала.

Как показали результаты исследований, твердые включения в виде медненного кокса целесообразно вводить в количестве 5 мас.% при «конструировании» износостойких материалов и в количестве 10 мас.% – антифрикционных материалов. Резко повысить износостойкость и нагрузочную способность такого класса материалов можно путем оптимизации технологических режимов прессования и спекания.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента трения f от наработки пути трибосопряжения диска из стали 45 и призматического образца из материала, содержащего медненный кокс в количестве 10 мас.%.

Как следует из графика, при наработке пути трибосопряжения до 1000 метров коэффициент трения f образцов стабилен. Однако некоторое изме-

нение происходит на образце, спрессованном под давлением 1000 МПа. С другой стороны, именно на этом образце получился самый низкий f .

Анализируя эти данные, можно видеть, что они хорошо коррелируют с данными физико-механических свойств этих материалов.

Чтобы обеспечить надежность работы деталей и узлов в любых условиях, важно подобрать оптимальный состав композиционного материала. Разработка, оптимизация или подбор требуемого состава – это сложная многофакторная задача, требующая для эффективного решения новых методов: системного подхода, статических методов, современных информационных исследований.

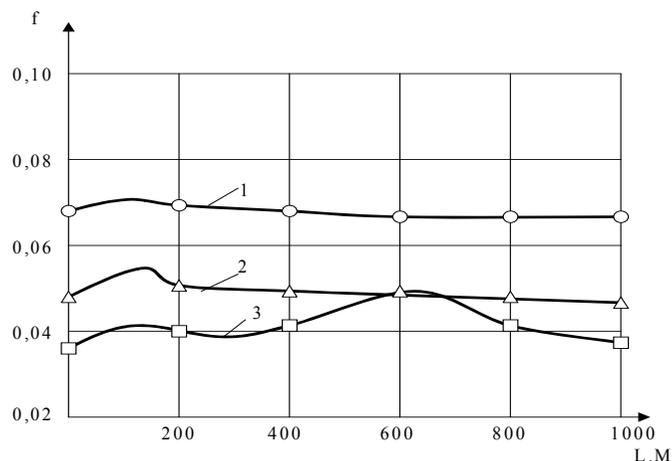


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента трения f от наработки пути трибосопряжения: сталь 45 – Fe + 10% МК; 1 – 400 МПа; 2 – 700 МПа; 3 – 1000 МПа

Для достоверной оценки полученных результатов и недопущения дублирования работ необходим системный подход к объяснению явлений с учетом анализа микроструктуры образцов, изготовленных из различных составов и при различных режимах.

Нами была изучена морфология композиционного материала «кокс-медь». Частицы кокса, покрытые медью, в совокупности представляют собой дендриты I и II порядков с развитой поверхностью и расстоянием вдоль центральной оси 30–50 мкм. Ядро материала (кокс) представляет собой вид пористого каркаса. Частицы кокса вследствие пористости закрепляются в ветвях дендритов меди, что обеспечивает их однородное и равномерное распределение в смеси и способствует формированию относительно однородной структуры материалов. Взятие кокса в «замок» медью практически его отделяет от частиц железа, подавляя диффузионную подвижность углерода. Таким образом, практически предотвращается диффу-

зия углерода в железо и образование твердого раствора углерода в железе и цементите.

Список литературы

1. Определение эффекта спекания за счет природы дисперсоида // Материалы VIII Международной конференции. СПб., 2006.
2. Заявка 58-157929, Япония. Спеченные заготовки, пригодные для изготовления деталей автомобиля, работающие в условиях сухого трения / Тосиба Т. Опубл. 20.09.83.
3. Юга А.И. Исследование влияния состава и структуры медных сплавов на их фрикционные свойства при трении в различных средах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1993.

УДК 626.82:631.6

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПОРНОЙ ПЛАВАЮЩЕЙ ТРУБЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ПОПЛАВКАМИ Новиков С.Г.¹, Ляхов А.В.², Ляхов В.И.², Малыхин В.В.²

¹Курский институт социального образования (филиал) Российского государственного социального университета
²Юго-Западный государственный университет, Курск

Разработана технология изготовления напорных плавающих труб, позволяющая улучшить их качество и повысить производительность труда.

В гидромеханизации для транспортирования гидросмесей различных концентраций широко используются плавающие эластичные трубопроводы с поплавками, выполненными из вспененного материала с малым удельным весом, или пневматическими поплавками.

Напорные эластичные трубы разнообразны по конструкциям, но, как правило, изготавливаются по одинаковым типовым технологиям.

Так, известен способ изготовления напорных рукавов (труб), включающий сборку на цилиндрическом металлическом дорне многослойного шланга из резинотканевых материалов, запрессовку заготовки бинтованием перед вулканизацией, вулканизацию, разбинтовку и съемку напорного рукава (трубы) [1].

Недостатками указанного способа являются:

1. Большие трудозатраты на бинтовку и разбинтовку изделия и расход ткани бинтовочных материалов.
2. Запрессовка бинтами перед вулканизацией толстостенных (с большим количеством тканевых слоев) изделий не обеспечивает необходимых усилий обжатия, что приводит к изготовлению некачественных напорных труб (появлению пор).

Технической задачей предлагаемой технологии является повышение производительности труда изготовления напорных плавающих труб, улучшение их качества и снижение материалоемкости.

Технический результат по повышению производительности труда изготовления напорных плавающих труб, улучшению их качества и снижению материалоемкости достигается тем, что в способе изготовления напорной плавающей трубы с пневматическими поплавками, включающем сборку на цилиндрическом металлическом дорне многослойного шланга из резинотканевых материалов, запрессовку заготовки перед вулканизацией, вулканизацию и съемку напорной трубы, на наружной стенке шланга по всей его длине рядом друг с другом размещают плоскосложенные резинотканевые заготовки поплавков, имеющие ниппели для пропуска сжатого воздуха и выполненные в форме тора с внутренним диаметром, равным диаметру наружной стенки шланга. Во внутренних полостях поплавков и между соседними поплавками помещают прокладки, при этом соосно со шлангом и поплавками с их внешних сторон устанавливают ограничитель радиальных деформаций, выполненный из тканевого полотна, сформированного в чехол в виде разъемного цилиндра, с возможностью изменения его объема. Запрессовку шланга с поплавками перед вулканизацией осуществляют закачиванием воздуха через ниппели в поплавки, расположенные между шлангом и ограничителем радиальных деформаций.

На рисунке изображен продольный разрез напорной плавающей трубы.

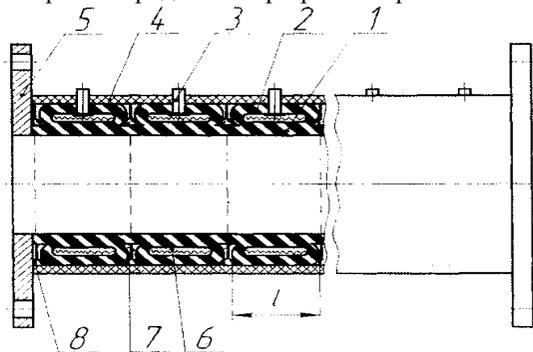


Рисунок 1 - Запрессовка шланга с поплавками перед вулканизацией

На цилиндрическом металлическом дорне (не показан) собран многослойный шланг 1 из резинотканевых материалов. На наружной стенке шланга по всей его длине рядом друг с другом размещены плоскосложенные резинотканевые заготовки поплавков 2, имеющие ниппели 3 для пропуска сжатого воздуха и изготовленные в виде тора с внутренним диаметром, равным диаметру наружной стенки шланга. Соосно со шлангом 1 и поплавками 2 с их внешних сторон установлен ограничитель радиальных деформаций 4, выполненный из тканевого полотна, сформированного в чехол в виде разъемного цилиндра, с возможностью изменения его объема. По концам шланга установлены фланцы 5. Во внутренних полостях по-

плавков 2 помещены прокладки 6, а между соседними поплавками, крайними поплавками и фланцами – соответственно прокладки 7 и 8.

Технология изготовления напорной плавающей трубы с пневматическими поплавками осуществляется следующим образом.

На цилиндрическом металлическом дорне совместно с фланцами 5 собирают толстостенный шланг 1 из материалов, включающих несколько слоев из высокопрочных синтетических тканей с внешним и внутренним покрытиями из резины. Расстоянием L между фланцами определяют длину напорной плавающей трубы.

По всей длине шланга 1 рядом друг с другом размещают плоскосложенные заготовки поплавков 2, выполненных в форме тора, внутренний диаметр которого равен диаметру наружной стенки шланга 1. Материалом поплавков является тканевый каркас, обрешиненный с двух сторон сырыми резиновыми полотнами.

Зная число n поплавков, необходимых для обеспечения плавучести напорной трубы, определяют ширину плоскосложенных поплавков $l = L/n$ и раскрой материала для их изготовления. Внутри плоскосложенных заготовок помещают прокладки (дорны) 6, например из термостойкой пленки с металлизированной поверхностью. Прокладки 7 и 8 из такого же материала вставляют между соседними поплавками 2, а также крайними поплавками и фланцами 5. В поплавки для пропуска сжатого воздуха заделывают ниппели 3 и выставляют их в один ряд с равномерным шагом. Собранные совместно шланг 1 и поплавки 2 тщательно прокатывают роликами для обеспечения плотного прилегания составных частей заготовки. Совмещают отверстия одной стороны тканевого полотна с ниппелями 3, полотно обматывают вокруг шланга с поплавками. Необходимый ряд отверстий второй стороны располагают на ниппелях и таким образом формируют цилиндрический чехол ограничителя радиальных деформаций 4 с минимальным объемом цилиндра, в котором внутренний диаметр чехла равен внешнему диаметру собранной на металлическом дорне заготовки из шланга 1 и поплавков 2, после чего фиксируют концы полотна, например при помощи ремней или шнуровкой.

Через ниппели 3 в поплавки 2, расположенные между шлангом 1 и ограничителем радиальных деформаций 4, закачивают воздух и осуществляют запрессовку шланга с поплавками перед вулканизацией. Контролируя давление воздуха в поплавках, например с помощью манометров (не показаны), можно создавать сколь угодно необходимые усилия обжатия запрессовки. При этом объемы поплавков не меняются, так как ограничитель радиальных деформаций выполнен из высокопрочной ткани и практически не растяжим. Таким образом происходит полная запрессовка заготовки.

Напорную плавающую трубу с пневматическими поплавками помещают в вулканизатор и производят горячую вулканизацию. В результате поплавки 2 оказываются изготовленными как одно целое со шлангом 1. Наличие прокладок 6 обеспечивает образование полостей торовых поплавков. Про-

кладки 7 и 8 не дают возможности поплавкам свулканизироваться между собой и фланцами 5.

После вулканизации изделие извлекают из вулканизатора. Через ниппели 3 «стравливают» воздух из поплавков 2. Производят съемку напорной трубы с дорна. Ограничитель радиальных деформаций 4 является защитным чехлом напорной трубы с поплавками и предотвращает её от повреждений при транспортировании и хранении.

Оригинальностью предложенного способа изготовления напорной плавающей трубы с пневматическими поплавками является то, что на наружной стенке шланга 1 по всей его длине рядом друг с другом размещают плоскосложенные резиноканевые заготовки поплавков 2, имеющие ниппели 3 для пропуска сжатого воздуха и выполненные в форме тора с внутренним диаметром, равным диаметру наружной стенки шланга 1. Во внутренних полостях поплавков 2 и между соседними поплавками помещают прокладки 6 и 7, при этом соосно со шлангом и поплавками с их внешних сторон устанавливают ограничитель радиальных деформаций 4, выполненный из тканевого полотна, сформированного в чехол в виде разъемного цилиндра, с возможностью изменения его объема. Запрессовку шланга 1 с поплавками 2 перед вулканизацией осуществляют закачивание через ниппели 3 воздуха в поплавки 2, расположенные между шлангом 1 и ограничителем радиальных деформаций 4. Следовательно, данный способ позволяет:

1) повысить производительность труда и снизить материалоемкость изготовления напорных плавающих труб, так как отсутствуют бинтовка и разбинтовка их при запрессовке перед вулканизацией;

2) улучшить качество толстостенных напорных труб за счет обеспечения необходимых усилий обжатия запрессовки путем закачивания воздуха через ниппели в поплавки, расположенные между шлангом и ограничителем радиальных деформаций.

Таким образом, предложенная технология позволяет достичь технического результата по повышению производительности труда изготовления напорных плавающих труб, улучшению их качества и снижению материалоемкости [2, 3].

Данная разработка в 2009 году награждена дипломом Федеральной службы по охране интеллектуальной собственности, патентам и товарным знаком в номинации «100 лучших изобретений России».

Список литературы

1. Иванова В.Н., Алеушина Л.А. Технология резиновых технических изделий. Л.: Химия, 1975. С. 94–101.

2. Новиков С.Г., Чижов А.Е., Чижов Е.А. Эластичная напорная плавающая труба с пневматическими поплавками // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 101. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». Хавків, 2010. С. 198–202.

3. Пат. 2358178 Российская Федерация, МПК F16L11/00. Напорная плавающая труба с пневматическими поплавками и способ ее изготовления / Новиков С.Г., Чижов А.Е., Чижов Е.А. №2008105274/06; заявл. 12.02.2008; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16. 8 с.

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ПРОТРАВОЧНОЙ МАШИНЫ С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ НОРМЫ РАСХОДА СУСПЕНЗИИ

Акрамов Алишер Ашуралиевич, младший научный сотрудник АО «Paxtasanoat ilmiy markazi», г.Ташкент, Узбекистан

В борьбе с семенной инфекцией основное значение имеет протравливание семенного материала химическими средствами, требования к которым в настоящее время резко возросло. В хлопководстве также посевные семена централизованным способом протравливаются химическими препаратами непосредственно перед посевом хлопчатника. Подготовка посевных семян производится двумя способами опущенные и оголенные. Опущенные и оголенные семена отличаются друг от друга своими свойствами. Опущенные семена трудно сыпучие, а оголенные семена относятся к сыпучим материалам. Дозаторы протравочных машин также отличаются друг от друга.

В технологии протравки посевных семян входят несколько этапов: приготовление протравочных средств или водяной суспензии, дозированной подачи протравочных средств, дозированной подачи семян, опрыскивание суспензии в семена, перемешивание опрыскиваемых суспензии семена. В действующих цехах по подготовке оголенных и опущенных посевных семян установлены протравочные машины фирмы «Юбус» Испанского производства. Эти протравочные машины эффективно работают при протравливание оголенных семян.

Опущенные семена отличаются трудно сыпучими и быстро впитывающими свойствами. Учитывая эти свойства, было разработано протравочная машина с устройством для корреляции нормы расхода суспензии соответственно с производительностью дозатора семян. Были произведены лабораторные испытания для определения следующих параметров этого протравочной машины.

Поставлены следующие задачи для проведения опытных экспериментов:

- без перебойной работы дозатора;
- точного дозирования опущенных семян;
- равномерной подачи из устройства опущенных семян;
- повысить точность корреляции дозатора семян с количеством суспензии.

Исходные испытания показали, что на производительность дозатора влияют 3 фактора:

- выступ пил пильного цилиндра из колосника (рисунк-1);
- расстояние «S» от зубьев пил пильного цилиндра до регулирующей стенки;
- частота вращения пильного цилиндра, n.

- Далее проводились эксперименты в следующем виде параметров:
- выступ пил пильного цилиндра из колосника;
 - расстояние «S» от зубьев пил пильного цилиндра до регулирующей стенки;
 - частота вращения пильного цилиндра n , 60 об/мин. взяли не изменяемым.

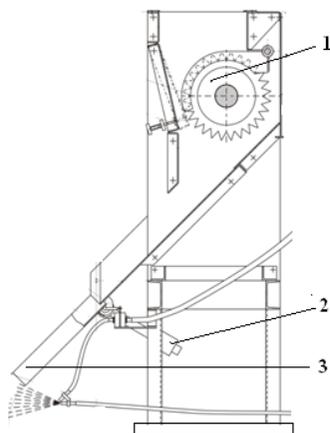
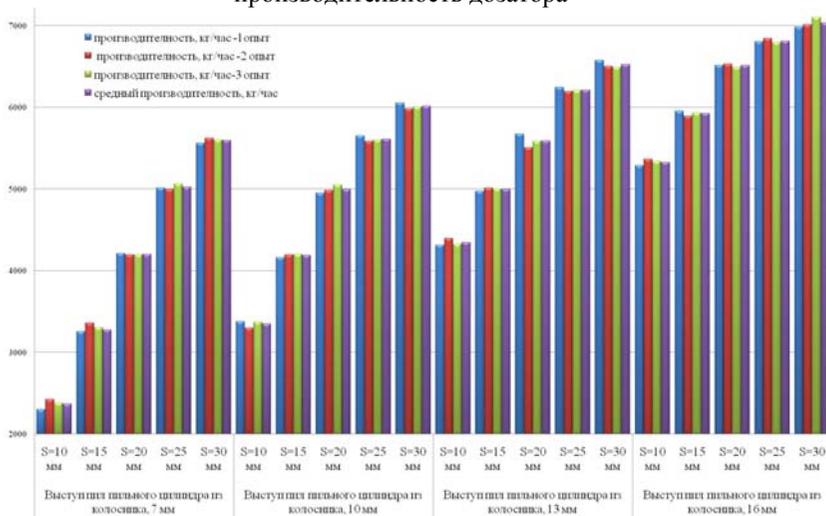


Рисунок – 1. Механизм подачи суспензии и дозатор семян
1- пильный цилиндр; 2 – противовес; 3 – вибрирующий лоток.
Данные проведенных экспериментов показаны в графике.

Влияние выступа пил пильного цилиндра из колосниковой гребёнки на производительность дозатора



Из показателей экспериментов видно, что изменение расстояние «S» от зубьев пил пильного цилиндра до регулирующей стенки и выступа пил пильного цилиндра из колосниковой гребёнки влияют на производительность дозатора. С повышением расстояние «S» до 30 мм повышается производительность дозатора, но семена выводятся не равномерно, то есть кучками. Согласно нашего требования и при высокой производительности опущенные семена должны подаваться на протравку равномерно.

В ходе экспериментов анализ различных положений регулировки дозатора показал, что расстояние от зубьев пил пильного цилиндра до регулирующей стенки $S=20$ мм и при выступе пил пильного цилиндра из колосниковой гребёнки на 7-10 мм, производительность дозатора составляет 4000-5000 кг/час. При этом подача семян происходит равномерно, что в целом удовлетворяет поставленным условиям.

Следующей задачей является определение параметров механизма корреляции с объёма суспензии к количеству семян. В данном случае было изучено воздействие 4 –х факторов механизма:

1. Были приняты следующие размеры вибрирующего лотка; длина-300 мм; ширина-260 мм; высота стенок лотка-50 мм.

2. Расстояние от оси вибрирующего лотка до крана для подачи суспензии, $L=28$ мм; 32 мм; 36 мм; 40 мм; 44 мм; 48 мм; 52 мм.

3. Угол наклона вибрирующего лотка, α

4. Вес противовеса 500 гр; 700 гр; 900 гр; 1100 грамм.

Для проведения испытание механизма корреляции подачи протравочной суспензии к количеству семян были определены норма объёма расхода суспензии, то есть 25-30 литров суспензии изготовленного из препарата П-4 на 1 тонну опущенных семян. [2]

Испытательные работы в первую очередь проводились на погашения колебания вибрирующего лотка. Как известно при прохождении семян через вибрирующего лотка возникаю колебания вибрирующего лотка. Эти колебания влияют на степень открытия краника суспензии, что в свою очередь влияют на неравномерной подачи суспензии. Поэтому, с целью погашения колебания лотка меняем вес противовеса, его место на рычаге и угол наклона рычага к лотку. Берём следующие параметры: вес противовеса-1100 грамм; расстояние до места установки на рычаге – 210 мм и угол наклона рычага к лотку – 75° . Эти параметры были определены экспериментальным путём подбора наилучшего условия работы протравочной машины.

Были проведены так же опыты по определению параметров механизма путём изменения расстояние от оси вибрирующего лотка до крана для подачи суспензии при производительности дозатора 2500, 3000, 3500 и 4000 кг/час (таблица -1).

Таблица 1 - Влияние изменения расстояния установки крана на пропускную способность суспензии

№	Расстояние от оси лотка до крана подачи суспензии, мм	Расход суспензии относительно производительности, л/час			
		2500 кг/час	3000 кг/час	3500 кг/час	4000 кг/час
1	28	43,7	52,6	61,2	70,4
2	32	50,2	60,0	70,3	80,0
3	36	56,2	67,5	78,7	90,1
4	40	62,5	75,1	87,5	100,0
5	44	68,7	82,5	96,2	110,3
6	48	75,0	89,8	105,2	119,8
7	52	81,2	97,5	113,7	124,6

Анализ полученных результатов показал, что наиболее приемлемым расстоянием от оси лотка до оси крана подачи суспензии от 44 мм до 48 мм. Потому что, норма расхода суспензии на протравливание 1 тонну опущённых посевных семян согласно «Рекомендация по протравливанию семян хлопчатника» - установлено в объёме 25-30 литров. Если указанные расстояние уменьшить от 44 мм, подача суспензии будет меньше нормы, а при увеличении его более 48 мм – подача суспензии будет больше нормы.

Исходя из результатов проведённых опытов, были определены нижеследующие оптимальные параметры машины для протравливания опущённых посевных семян.

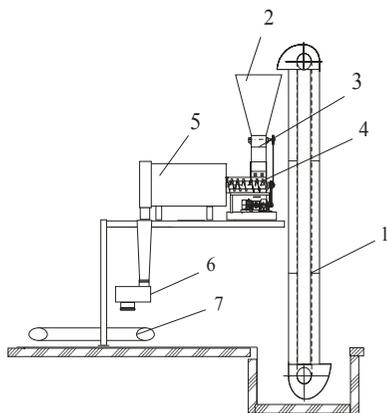


Рисунок 2 - Протравочная машина для опущённых семян хлопчатника
1- элеватор; 2-бункер; 3-дозатор; 4-шнековый смеситель; 5- шестигранный барабан; 6-мешковыбевный аппарат; 7-транспартер

Выступ пил пильного цилиндра из колосника $h=7-10$ мм, расстояние от зубьев пил пильного цилиндра до регулирующей стенки $S=20$ мм, частота вращения пильного цилиндра $n=60$ об/мин, длина вибрирующего лотка 300 мм, расстояние от оси вибрирующего лотка до крана для подачи суспензии $L=44-48$ мм и противовес – 1100 грамм.

На основе заданных параметров изготовлена протравочная машина, которая установлена в цехе протравливания семян хлопчатника (рисунок 2).

Протравочная машина работает следующим образом: элеватор подаёт опущённые семена в бункер протравочной машины. Из бункера через дозатор семена подаются в лоток. Под действием массы семян на лоток открывается кран и подаётся суспензия. Суспензия через форсунку опрыскивается семена, далее подаётся в барабан быстрого смешивания компонентов.

Список литературы

1. Х.Неъматов «Научные основы семеноводство хлопчатника» Ташкент-2005. 5 стр.
2. В.Г.Ракипов, Р.Р.Назиров «Рекомендация по протравливанию семян хлопчатника» Ташкент – 2002. 11-12 стр.
3. Р.К.Жамалов, А.А.Акрамов Отчёт о научно-исследовательской работе «Разработка протравителя с устройством для корреляции норм расхода суспензии соответственно производительностью дозатора семян, для повышения эффективности протравливания» Ташкент 2012.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Алаев Александр Сергеевич, магистрант

Научный руководитель: Трушин Николай Николаевич, д.т.н., профессор кафедры ТМС

Тулский государственный университет, г.Тула, Россия

В данной статье приведено обоснование выбора критерия, по которому будет производиться диагностика фактического состояния рабочей жидкости в гидросистеме технологического оборудования.

Современные технологические системы, включая производственное и технологическое оборудование, являются сложными и дорогостоящими. Их выход из строя влечет за собой значительные материальные потери и временные затраты, связанные с выводом оборудования из эксплуатации на ремонтно-восстановительный период. Обслуживание по фактическому техническому состоянию позволяет снизить затраты на обслуживание, уменьшить количество самих обслуживаний и сократить число отказов [1].

В настоящее время замена рабочей жидкости в гидрофицированном оборудовании производится не по фактическому состоянию, а по сроку, указанному в эксплуатационной документации и документации по техническому обслуживанию [2]. Однако замена рабочей жидкости в плановом

порядке не всегда эффективна, поскольку ее ресурс может быть еще не выработан, либо она уже израсходовала свой ресурс. В случае, если ресурс рабочей жидкости еще не выработан, наблюдается необоснованный перерасход рабочей жидкости, что ведет к увеличению затрат на техническое обслуживание и к увеличению количества обслуживаний. Поэтому актуальной является задача оперативной диагностики фактического состояния рабочей жидкости в процессе ее эксплуатации.

Точно оценить фактическое техническое состояние оборудования можно только в результате непрерывного наблюдения за работой оборудования, регистрации, учета и анализа всех параметров, а также возникающих отказов. Для реализации процесса непрерывного наблюдения следует использовать специальные информационные технические средства, которые должны являться неотъемлемой частью самого оборудования [3].

Из анализа литературного источника [4] следует, что сегодня для определения состояния рабочей жидкости при эксплуатации гидропривода достаточно широко используются единичные показатели, которые обладают рядом недостатков. К ним относятся отсутствие четких предельно допустимых значений, значительные затраты времени на реализацию испытаний по этим критериям, а также высокую стоимость и необходимость иметь специализированную лабораторию. Таким образом, эти критерии непригодны для оперативной диагностики состояния рабочей жидкости в гидросистеме.

Сейчас не существует такого научно обоснованного критерия, который бы позволил быстро и относительно точно определить текущее состояние и сроки службы рабочей жидкости при эксплуатации гидрофицированного оборудования. Учитывая основные недостатки приведенных выше единичных показателей, для определения состояния рабочей жидкости в гидроприводе стали использоваться электрофизические показатели. Вследствие этого выдвигается гипотеза о том, что в качестве критерия, по которому можно определять текущее состояние рабочей жидкости в гидроприводе, может служить параметр диэлектрической проницаемости рабочей жидкости или ее электропроводность.

В общем случае зависимость, связывающая диэлектрическую проницаемость ϵ с измеряемыми физическими величинами, оценивается емкостью конденсатора C по формуле (1)

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где d – расстояние между пластинами (толщина диэлектрика), S – площадь электродов, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, помещенного в пространстве между пластинами конденсатора [5].

Диэлектрическая проницаемость находится в прямой функциональной зависимости к емкости измерительного конденсатора и в обратной зависимости к напряженности электрического поля. Отсюда следует, что методы

измерения электрической емкости способны характеризовать изменения диэлектрических свойств исследуемой среды. Диэлектрическая проницаемость наиболее полно отражает фактическое состояние рабочей жидкости и согласно [5] в меньшей степени зависит от температуры, при которой осуществляются измерения, чем у других физических величин.

Для оценки состояния рабочей жидкости, а именно ее степени загрязненности, необходима постоянная диагностика. Она требует разработки специальной аппаратуры с комплексом датчиков, управляемых с помощью микро-ЭВМ, осуществляющей программу контроля параметров рабочей жидкости, характеризующих ее техническое состояние, с выводом сигналов на отображающие приборы, а при необходимости – и на аппаратуру управления оборудованием.

Для постоянной диагностики фактического состояния рабочей жидкости необходима автоматизированная информационно-измерительная система, которая будет собирать и обрабатывать информацию о состоянии рабочей жидкости гидросистемы технологического оборудования в течение всего его периода работы. На рис 1 приведена структура такой информационно-измерительной системы.



Рисунок 1 - Структура информационно-измерительной системы диагностики состояния рабочей жидкости

Разработанная структура информационно-измерительной системы диагностики состояния рабочей жидкости основана на работе 3-х датчиков: один из них регистрирует состояние рабочей жидкости в гидросистеме, второй – время работы технологического оборудования, а также прочие датчики. Датчик технического состояния рабочей жидкости является аналоговым и требует преобразования своей выходной информации в цифро-

вой код, далее обрабатывающийся в микропроцессорной системе и выводимый на устройство отображения.

Список литературы

1. Ковалев А.В., Трушин Н.Н., Сальников В.С. Прогнозирование технического состояния технологического оборудования/ Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11 Часть 2. – Тула: ТулГУ, 2014. – с. 536 – 545.
2. Чмиль, В. П. Гидропневмопривод: монография / В. П Чмиль; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 176 с.
3. Трушин Н.Н. Организационно – технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии: монография/ Тула: ТулГУ, 2003. – 230 с.
4. Техническая диагностика гидравлических приводов/ Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. и др.; Под общ. ред. Т.М. Башты. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
5. Борисова Г.А., Койков С.Н. Физика диэлектриков. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1979. – 240 с.

ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ВИБРОШЛИФОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА

Александров Сергей Борисович, магистрант

Василенко Юрий Валерьевич, к.т.н., доцент

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

В статье изложено краткое описание способа плоского шлифования периферией круга с аксиально-сместенным режущим слоем с наложением поперечных осцилляций на обрабатываемую заготовку. Представлены преимущества данного способа обработки.

Одной из важных причин, влияющих на потерю работоспособности трущихся пар, является схватывание подвижных деталей, в результате постоянного контакта поверхностей, между которыми отсутствует смазка. Это приводит к быстрому разрушению оксидной пленки на контактирующих поверхностях.

Снижение схватывания и уменьшение износа поверхностей постоянного трения достигается за счет повышения маслостойкости поверхности. Данные поверхности имеют и повышенные эксплуатационные показатели. Наибольшей маслостойкостью обладают поверхности, имеющие изотропный микрорельеф.

Одним из направлений получения изотропного микрорельефа при плоском шлифовании является осцилляция зоны резания, которую можно осуществить за счет специального привода шпинделя или заготовки. С точки зрения модернизации станочного оборудования предпочтительнее выглядит метод сообщения поперечных осцилляций заготовке, поскольку подобную схему конструктивно проще осуществить. Поэтому разработан способ плоского шлифования периферией круга с сообщением обрабаты-

ваемой заготовке вынужденных поперечных колебаний заданной амплитуды и частоты (рисунок 1). При этом способе обработки круг совершает вращательное движение со скоростью резания $V_{кр}$. В поперечном направлении со скоростью V_m и в продольном направлении со скоростью V_o осуществляется движение стола станка, на котором устанавливают обрабатываемую заготовку. Заготовке сообщаются поперечные колебания со скоростью V_{XA} , которая определяется по зависимости:

$$V_{XA} = 2\pi fa \cos\left(2\pi fR\varphi_A / 10^3 V_{кр}\right), \quad (1)$$

где a – амплитуда осцилляций, мм; f – частота вынужденных осцилляций, Гц; R – радиус шлифовального круга, мм; φ_A – угол контакта шлифовального круга с заготовкой, радианы;

Наложение на заготовку осцилляций обеспечивает участие большего числа зерен в процессе обработки, траектории движения которых увеличены и не эквидистанты, что приводит к образованию сетки разнонаправленных микронеровностей и увеличению металлоудала (рисунок 2). На рисунке 3 (а, б) представлен график зависимости максимальной скорости осциллирующего движения заготовки V_{XA} от частоты осцилляций f и амплитуды колебаний a . [1]

Рисунок 1 – Кинематическая схема процесса плоского шлифования периферией круга с ПОЗ

Рисунок 2 – Топография обработанной поверхности предлагаемым способом (увеличено в 3000 раз)

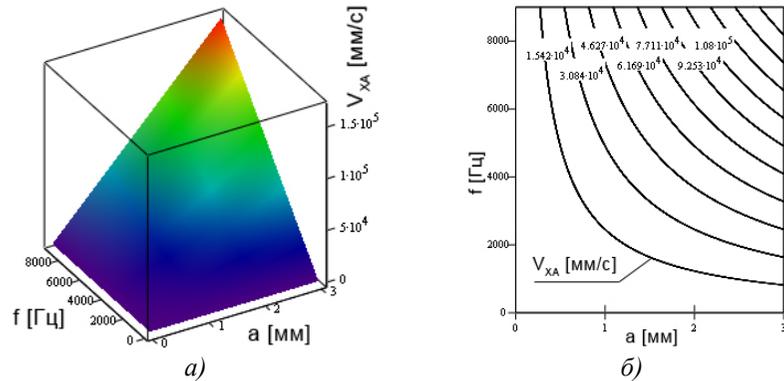


Рисунок 3 – Зависимость максимальной скорости колебаний V_{XA} от амплитуды a и частоты f осцилляций

Для дополнительного повышения производительности предлагается использование шлифовального круга с аксиально-смещенным режущим слоем (АСРС). За счет постоянного смещения зоны обработки при шлифовании данным кругом снижается сила резания, тепловыделение и износ инструмента при повышении рабочих подач (рис 2). [3]

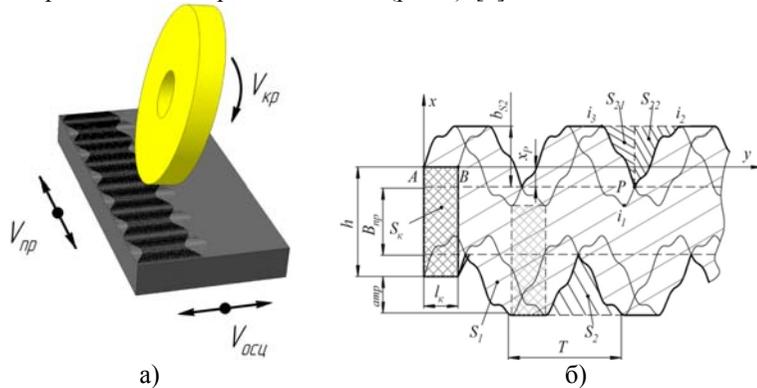


Рисунок 2 – Кинематика (а) и зона (б) обработки предлагаемым методом

Анализ различных форм колебаний источника осцилляций (синусоидальная, трапециевидная, прямоугольная и пилообразная) показал, что наиболее эффективной по основным показателям (отношение средней и максимальной скоростей, средняя мощность) является форма, приближенная к синусоидальной.

Для принятого синусоидального закона осцилляций произведен анализ влияния частоты и амплитуды осцилляций на основные технологические параметры обработки предлагаемым методом. [3] Влияние данных вели-

чин на среднюю и максимальную скорости осцилляций равнозначно. Однако, на потребляемую осциллятором мощность, развиваемую им силу и вероятность пересечения следов от абразивных зерен влияние амплитуды и частоты осцилляций не одинаково и в целом в пределах используемых режимов шлифования рекомендовано повышение производительности обработки осуществлять повышением амплитуды в большей степени, частоты – в меньшей.

$$v_o(\tau) = 2\pi n r \cdot \cos(2\pi n \cdot \tau);$$

$$N_o(\tau) = -4(\pi n)^3 \cdot r^2 \cdot M \cdot \sin(4\pi n \cdot \tau);$$

$$F_o(\tau) = -4(\pi n)^2 r \cdot M \cdot \sin(2\pi n \cdot \tau);$$

где v – линейная скорость осцилляций в момент времени τ , м/с,
 τ – время, с,
 N_o – мощность, развиваемая осциллятором, Вт,
 F_o – сила, развиваемая осциллятором, Н,
 n – частота осцилляций, Гц,
 r – амплитуда осцилляций, м,
 M – масса колебательной системы, кг.

По результатам анализа разработана конструкция аппаратного комплекса, позволяющего реализовать предлагаемый метод обработки. Комплекс включает в себя установку для плоского шлифования с поперечной осцилляцией заготовки, а также шлифовальный круг с АСРС, устанавливаемые на плоскошлифовальный станок. [4]

Оригинальная конструкция установки с инерционным источником колебаний, разработанная в процессе работы над проектом, включает основание 1, на котором может перемещаться подвижная плита 2 (рис. 3). В качестве источника осцилляций используется пара маховиков-эксцентриков 8, установленных на валах 6 и вращающихся в одной фазе, но в противоположных направлениях, за счет согласования парой зубчатых колес 7. При этом в направлении продольной оси маховики уравнивают друг друга, а в направлении поперечной оси происходят колебания двух неуравновешенных масс, что вызывает периодическую силу инерции $F_{и}$, под действием которой подвижная плита с магнитной плитой 4 и заготовкой на ней совершает колебания вдоль поперечной оси. [5]

1. Воронков, А.В. Повышение эффективности плоского шлифования периферией круга путем поперечной осцилляции обрабатываемой заготовки: Автореф. дис. канд. тех. наук. Орел, 2012. – 16 с.

2. Симаков, А.А. Методика повышения эффективности плоского виброшлифования периферией круга / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко // Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор: Гречухин А.Н. 2014 Издательство: Закрытое акционерное общество «Университетская книга» (Курск)

3. Экспериментальные исследования шероховатости при плоском шлифовании с поперечной осцилляцией заготовки / А.В. Воронков, А.А. Симаков, О.А. Василенко, Ю.В. Василенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012, №3-2(293). - С. 104-109.

4. Анализ форм колебаний возмущающей силы при плоском виброшлифовании / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко, М.А. Бурнашов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013, №3-2(299). - С. 76-81.

5. Инерционная установка для плоского виброшлифования периферией круга / А.А. Симаков, Ю.В. Василенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2013. - Т. 15. - №4-2. - С. 412-415.

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОЙ ЦЕННОСТИ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ПЛОХОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ

*Аль-Касасбех Р.Т.¹, Стародубцева Л.В.²,
Корневская Е.Н.³, Старцев Е.А.⁴.*

¹*Амман Иордания университет Аль-Балка*

²*Юго-Западный государственный университет, г.Курск*

³*Донецкий национальный технический университет, г.Донецк*

⁴*аспирант Юго-Западного государственного университета, г.Курск*

Одной из центральных задач теории распознавания образов является задача оценки и выбора состава информативных признаков. В практических приложениях наиболее часто для оценки информативности данных используются различные статистические методы, например, на основе методов классификации, на основе энтропии, на основе непараметрических оценок плотности и др. [3]

Однако использование широко распространенных методов анализа и выбора информативных признаков предъявляет целый ряд формальных требований к структуре данных, которые часто не выполняются при решении задач оценки состояния и управления сложными системами, включая медицинские, экологические, биотехнические и другие системы.

С учетом этого, в данной работе рассматривается возможность использования теории измерения латентных переменных и метода группового учета аргументов при решении задач оценки и выбора информативных признаков в условиях недостаточной статистики при плохоформализуемой структуре данных [1,2,6,7,11,22].

В теории измерения латентных переменных ItemResponseTheory (IRT) устанавливается связь между двумя множествами значений латентных пе-

Рисунок 3 – Конструкция установки для поперечной осцилляции заготовки

Частота колебаний системы совпадает с частотой вращения маховиков и может регулироваться оборотами электродвигателя. Амплитуда колебаний зависит от скорости маховиков и разности масс их эксцентрической и всей колебательной системы.

Подвижная часть системы защищена от попадания в нее стружки, шлама и СОЖ кожухом, на схеме не показанном.

Преимущества установки состоят в высоком КПД за счет того, что потери энергии происходят лишь в подшипниках, зубчатой и ременной передачах, удобстве и широком диапазоне управления параметрами осцилляции, универсальности, защите двигателя от перегрузки, малом износе элементов, а также простоте конструкции и малой стоимости изготовления и эксплуатации.

Предлагаемый метод позволяет осуществлять финишную обработку плоских поверхностей ответственных деталей, применяемых в машиностроении, приборостроении, авиационно-космической технике с:

- а) снижением шероховатости обработанной поверхности;
- б) формированием на ней управляемого ненаправленного микрорельефа;
- в) повышением износостойкости и уменьшением затрат времени на обработку сопрягаемых поверхностей;
- г) значительным повышением производительности обработки;
- д) увеличением стойкости шлифовального круга.[2]

Список литературы

ременных. Первое множество – значения латентных переменных, характеризующих уровень качества объектов наблюдения θ_i , где i – номер объекта ($i=1,2, \dots, n$). Второе множество – значения латентных переменных, определяющих значимость j -го индикатора β_j , ($j=1,2, \dots, m$) [11,22].

Применимо к оценке состояния биотехнических систем исследуемое состояние является латентной переменной, а признаки, описывающие это состояние, являются индикаторными переменными. Практическое использование IRT для решения различных задач показало, что для решения задач оценки информативности индикаторных переменных наиболее адекватной является модель Г.Раша [11,22], аналитически описываемая выражением вида:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \quad (1)$$

где P_{ij} - вероятность достижения i -м объектом значения латентной переменной θ при значении j -ой индикаторной переменной β_j .

Графики данной функции называются характеристическими кривыми индикаторов.

Для исследования роли индикаторных переменных в формировании латентной переменной разработан пакет прикладных программ RUMM 2020 (*RaschUnidimensionalMeasurementModels*) [11,22]. Используя значения индикаторных переменных переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические (характеристические) кривые модели Г.Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных этой модели и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

- степень соответствия индикаторных переменных модели измерения - $ChiSqProb$ ($\chi^2_{критич.}, Prob$);
- местоположения индикаторной переменной измеряемой в логитах – $Location$;
- погрешность измерения местоположения индикаторной переменной измеряемой в логитах SE ;
- величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели – $FitResid$.

Считается, что индикаторная переменная, для которой $\chi^2_{критич.} Prob \geq 0,5$ (при доверительной вероятности 0,95) удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использована для описания исследуемой переменной. В работах [6,7,11,12] можно найти подробное описание процедуры формирования списков индикаторных переменных адекватных модели Г. Раша и пригодных для оценки исследуемой латентной переменной.

Мерой информативности индикаторных переменных x_i по отношению к латентной переменной является переменная Location (l_i) [6,11].

Основным ограничением использования модели Г. Раша для оценки информативности является наличие обучающего материала достаточного объема, а так же то, что структура исходных данных должна удовлетворять используемой математической модели, в частности логистической модели ок литературы Г. Раша.

Менее жесткие ограничения к структуре данных предъявляются методом группового учета аргументов (МГУА) [1,2], однако этот метод имеет менее развитый доказательный механизм степени доверия к информативной ценности анализируемых показателей.

Метод группового учета аргументов характеризуется использованием моделей структурно параметрической идентификации представленных полиномами Колмогорова-Габора, который в исследуемых приложениях реализуется моделью вида [1,2].

$$Y_{kl} = F_l(\overline{X_{jkl}}, \overline{A_{jkl}}), \quad (2)$$

где Y_{kl} - целевая функция (прогноз, диагноз, состояние окружающей среды и т.д.) по группе признаков определяемых вектором $\overline{X_{jkl}}$ для класса ω_l ; $\overline{X_{jkl}}$ - вектор признаков с номером j группы k класса ω_l ; $\overline{A_{jkl}}$ - вектор настраиваемых параметров.

После синтеза правил (2) из всех исходных признаков отбираются те, которые имеют устойчивые связи с Y_{kl} . Эти отобранные признаки предлагается считать информативными по отношению к классу ω_l . Величины элементов вектора a_i определяют меры информативности признаков x_i . В моделях типа (2) настраиваемые параметры по отношению к x_i могут включаться как множители и показатели степени, поэтому числовые значения a_i нельзя “напрямую” использовать как меру информативности. Задачу определения числовых значений меры информативности m_i признаков x_i для модели (2) могут решать эксперты исходя из свойств модели и знаний предметной области [4,5,7].

С учетом достоинств и недостатков методов, использующих модели Г.Раша и МГУА для решения задач оценки и выбора информативных признаков, предлагается объединить эти два подхода, добавив к ним экспертную составляющую.

Экспертная оценка информативности e_i (важности) признаков определяется по методикам хорошо отработанным в рамках квалиметрии.

Полученные величины информативности целесообразно для каждого из признаков агрегировать в интегральный показатель по формуле:

$$I_i = \frac{\gamma_1 \cdot l_i + \gamma_2 \cdot m_i + \gamma_3 \cdot e_i}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3} \quad (3)$$

где $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$ - коэффициенты определяющие вклад каждой из трех составляющих в интегральную оценку информативности признака x_i .

Величины характеризующие информативность удобно использовать для оценки верхних границ функций принадлежности и коэффициентов уверенности при синтезе гибридных нечетких моделей общие подходы и практическое применение которых описаны в работах [4,5,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19,20,21].

Список литературы

1. Ивахненко, А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического регулирования. [Текст] / А.Г. Ивахненко – Киев. Техника, 1969. – 392 с.
2. Ивахненко, А.Г., Юрачевский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М.: Радио и связь 1987, 118 с.
3. Колесникова, С.Н. Методы анализа информативности разнотипных признаков. Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – № 1 (6). – 2009. – С.48-54.
4. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Корневский, М.В. Артеменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах – 2014. – Т.13, №4. – С.881-886.
5. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем. Медицинская техника. – 2015. - №1(289). – С. 33-35.
6. Корневский, Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова // Медицинская техника, 2015 №6. – С.37-40.
7. Корневский, Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А.Корневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский – Старый Оскол:ТНТ, 2016. – 472 с.
8. Корневский, Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики [Текст]/ Н.А. корневский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.-М.-2005.-Т.4.-№1. – С.12-20.
9. Корневский, Н.А. Синтез коллектива гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем [Текст]/ Н.А. Корневский, К.В. Разумова // Научные технологии. – 2014 № 12. – Т.15.- С.31-39.
10. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных [Текст]/ Н.А. Корневский, Е.Б. Рябкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - Т.?.-№8.- С.128-137.
11. Маслак, А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах. Монография. М.: 2006. – 333 с.
12. Шуткин, А.Н. Оценка функционального состояния и здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г.Раша [Текст] А.Н. Шуткин // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2014. – Т.13. - №4. – С. 927-932.
13. Al-Kasasbeh R, Korenevskiy N, Ionescu F, Alshamasin M, Kuzmin A (2011) Synthesis of fuzzy logic for prediction and medical diagnostics by energy characteristics of acupuncture points. See comment in PubMed Commons below J Acupunct Meridian Stud 4: 175-182.

14. Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. «Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data». Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis, Bucharest, Romania, May 26-29, 2009 ISSN 2066-4451, P.71-78.
15. Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. “Using Fuzzy logic for prediction of occurrence, aggravation and pre-nosological diagnosis of osteochondrosis of a backbone s lumbar region”. Proceedings of the IASTED International Conference Computational Intelligence. – August 17-19, 2009: Honolulu, HI, USA: ACTA Press 2009: P. 190-194.
16. Korenevskiy, N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems/ N.A. Korenevskiy//Biomedical Engineering, May 2015, Volume 49, Issue 1, pp 46-49.
17. Korenevskiy, N. A. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic [Текст] / N. A. Korenevskiy, R.T. Al -Kasasbeh, F. Ionescu // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. - 2012. - V. 15 - Issue 7. - P.681-689.
18. Korenevskiy, N. A. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis [Текст] / N. A. Korenevskiy, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering November 2013, Volume 47, Issue 4, pp 169-172.
19. Korenevskiy, N. A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making [Текст] / N.A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescu, A. Smith // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. – 2013. – Volume 16, Issue 3. – P. 302-313.
20. N. Korenevskiy, RiadTaha Al-Kasasbeh, F. Ionescu, M. Alshamasin, Anrew P. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional. “Mega-Conference on Biomedical Engineering” Proceedings of the 4th-international conferecejn the development of biomedical engineering Ho Chi Minh City Vietnam January 8-12, 2012, p 354-357
21. Korenevskiy, N. A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional [Text] / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings. - 2013. - V. 40. - IFMBE. - P. 213-216.
22. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980.-199p.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДЕФОРМИРУЮЩЕ-РЕЖУЩЕГО ПРОТЯГИВАНИЯ

Амбросимов Сергей Константинович, д.техн.наук, проф.

(e-mail: ambsk@mail.ru)

Сырских Алексей Олегович, магистр,

(e-mail: sao48@yandex.ru)

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия

В статье представлены новые прогрессивные методы деформирующе-режущего протягивания с растяжением зоны резания и скольжением режущей кромки относительно поверхности резания и проблемы их использования для обработки отверстий.

Ключевые слова: деформирующее-режущее протягивание.

Протягивание является наиболее производительной технологией обработки различных отверстий. Деформирующе-режущее протягивание (ДРП) в основном применяется для обработки круглых цилиндрических отверстий в деталях различного назначения [1].

Использование лезвийного резания после деформирующей обработки позволило интенсифицировать процесс протягивания: уменьшить удельные силы резания, за счет исчерпания запаса пластичности, механически упрочненных деформирующими зубьями слоев материала и, за счет этого, повысить стойкость режущих зубьев [2,3], равномерно распределить припуск на режущие зубья, повысить качество обработанной поверхности. Кроме того, деформирующие зубья более эффективно увеличивают диаметр отверстия, и это приводит к повышению производительности за счет снижения длины инструмента.

ДРП появилось в 80 годах прошлого века, но не смотря на повышение стойкости инструмента, качество обработки и повышение производительности не нашло широкого применения. Основные проблемы внедрения ДРП связаны с усложнением конструкции инструмента за счет размещения деформирующих элементов перед каждой группой режущих зубьев, кроме того, при обработке заготовок из стали при скоростях резания свыше 4-х м/мин на поверхностях заборных конусов деформирующих элементов появляются наросты, которые снижают качество обработки. Проблемой является удаление стружки из канавок между деформирующими и режущими зубьями.

В последние годы появилось много новых методов ДРП, основанных на упруго-пластическом нагружении зоны резания (УПН) и косоугольным резанием [4, 5].

Конструкции протяжек [6, 7] повышают эффективность обработки за счет наложения на зону резания упруго-пластических растягивающих напряжений. Наиболее технологичной является конструкция [7], у которой на оправке 1 (рис. 1) смонтированы режущие кольца 2 с пазами, выполненными в местах расположения стружкоразделительных канавок, в которых установлены деформирующие зубья 3 (вид А), обеспечивающие максимальное растяжение слоев металла в зоне главной режущей кромки.

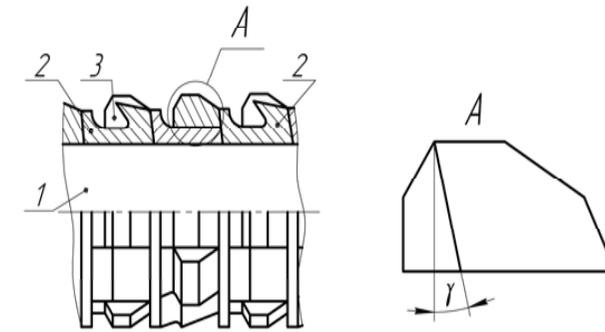


Рисунок 1 - ДРП с упруго-пластическим нагружением зоны резания.

Новый класс протяжек представляют протяжки, сочетающие косоугольное резание с опережающим пластическим деформированием и с упруго-пластическим воздействием на материал в зоне резания. На оправке 2 (рис. 2) установлены деформирующе-режущие зубья 1, за счет выполнения наклонных к оси инструмента канавок они имеют длинную режущую кромку 3, которая обеспечивает косоугольное резание, деформируемых задними поверхностями режущих зубьев 4 и упруго-растянутых задними поверхностями слоёв металла [8] протяжки неподвижно установлены относительно оправки 2 [9, 10]. Это позволяет при определённых условиях осуществлять смещение режущих и деформирующих зубьев относительно оси заготовки.

ДРП отверстий в деталях из чугуна ограничивается радиальной жесткостью втулок, так, например, при протягивании втулок с радиальной жесткостью $D/d = 2$, втулки начинают разрушаться при натягах 0,3 мм,

где d – диаметр отверстия,

D – наружный диаметр втулки.

Экспериментальные исследования процессов ДРП при обработке отверстий из материалов, обеспечивающих при резании стружку надлома, особенно, для серых чугунов, несмотря на некоторые недостатки, связанные с небольшими натягами на деформирующие зубья, показали высокую эффективность: отсутствие наростов на рабочих поверхностях деформирующих элементов, значительное снижение сил резания [11] и высокое качество обработки.

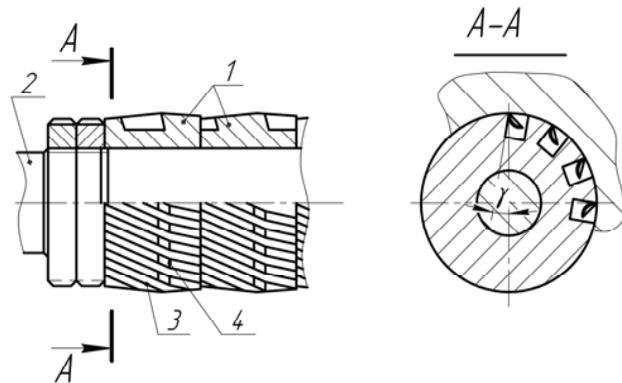


Рисунок 2 - Деформирующе-режущая протяжка с УПН и косоугольным резанием.

Список литературы

1. Кузнецов А.М. Повышение эффективности обработки отверстий деформирующе-режущим протягиванием [Текст] / А.М. Кузнецов, С.К., Амбросимов. / сб. Автоматизация технологических процессов изготовления и эксплуатации режущих инструментов, М.МДНТП:1985 с 125 – 127.
2. Амбросимов С.К. Феноменологическая модель обрабатываемости резанием с опережающим пластическим деформированием при протягивании [Текст] / С.К. Амбросимов / Известия Орел ГТУ. 2007, №3 / 267 – с. 4 – 13.
3. Амбросимов С.К. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин, А.Р. Ингенманссон и др. / Коллективная монография – М.: Спектр, 2011. – 328 с.
4. Амбросимов С.К. Определение технологических параметров процесса деформирующе-режущего протягивания с ОПД и УПН зоны резания [Текст] / Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 8. с. 3 – 7.
5. Амбросимов С.К. Феноменологическая модель обрабатываемости резанием с опережающим пластическим деформированием [Текст] / С.К. Амбросимов / Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 10. с. 15-19.
6. 3. А.с. 1146149 СССР, МПК 7 В 23 D 43/02. Деформирующе-режущая протяжка [Текст] / А.М. Кузнецов, Ю.М. Уляхин, С.К. Амбросимов. – № 3568630/25-08; заявл. 30.03.83; опубл. 23.03.85, Бюл. № 11 – 3 с.
7. 4. А.с. 1682146 СССР, МПК 7 В 23 D 43/02. Деформирующе-режущая протяжка [Текст] / С.К. Амбросимов, С.В. Вялкова. – № 4686795/27; заявл. 03.05.89, опубл. 07.10.91, Бюл. № 37 – 6 с.
8. Пат. 2316416 Российская федерация, МПК 7 В 23 D 43/02. Деформирующе-режущая протяжка для обработки криволинейных отверстий [Текст] / Амбросимов С.К., Амбросимов К.С.; заявитель и патентообладатель Липецкий государственный технический университет. – № 2006118600/02; заявл. 29.05.06, опубл. 10.02.08, Бюл. № 4 – 7 с.
9. Пат. 2237551 Российская федерация, МПК 7 В 23 D 43/02. Протяжка для обработки плоских поверхностей [Текст] / Амбросимов С.К., Крюков О.Н.; заявитель и патентообладатель Липецкий государственный технический университет. – № 2003102317/02; заявл. 27.01.03, опубл. 10.10.04, Бюл. № 28 – 8 с.

10. Амбросимов С.К. Новые прогрессивные методы деформирующе-режущего протягивания / С.К. Амбросимов // Вестник Липецкого государственного университета. № 1 (27) С 54...63.

11. Киричек А.В. Интенсификация процессов комбинированного протягивания круглых отверстий [Текст] / А.В. Киричек, С.К. Амбросимов / – М.: Машиностроение-1, 2009. – 148 с.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Арбузова Анна Андреевна, к.т.н., доцент

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

В результате проведенной работы разработана новая технология получения полимерно-армированных композиционных материалов. Данные материалы могут быть использованы при изготовлении швейных изделий различного назначения и позволяют тонко регулировать формовочные характеристики пакета изделия.

Любое швейное изделие (пальто, пиджак, китель и т.п.), имеет сложную объемно-пространственную форму, создание и поддержание которой – важная технологическая задача. Для сохранения приданной объемной формы необходимо увеличить жесткость материалов изделия на участках, подверженных деформирующим воздействиям. Для этого используются термоклеевые прокладочные материалы, представляющие собой текстильное полотно, на одну из сторон которого нанесено клеевое полимерное покрытие [1, 2].

Если при изготовлении изделий массового потребления возможно применение широкого ассортимента материалов как зарубежного, так и отечественно производства. Причем предпочтение отдается именно зарубежным материалам. То при изготовлении форменной одежды (например, кителей) в последние несколько лет главным требованием является применение только отечественного сырья. Это обусловлено существенным ростом цен на зарубежные материалы и сокращением объемов их поставок в связи с введением против России санкций рядом европейских стран.

Однако ассортимент отечественных прокладочных материалов обновляется значительно менее интенсивно, чем зарубежные аналоги, а их используемые виды не всегда позволяют создать требуемую объемную форму изделий в процессе изготовления и устойчиво её сохранить в процессе эксплуатации готовой одежды [3].

Разработана технология получения армированных термоклеевых прокладочных материалов, способных создавать с основным материалом пакеты с оптимальными формовочными характеристиками. Они легко поддаются формообразованию, а после окончательной влажно-тепловой обра-

ботки принимают требуемую жесткость и упругость, что обеспечивает сохранение объемной формы изделия в процессе эксплуатации.

Технология реализует оригинальные методы тонкого регулирования упруго-деформационных свойств пакета посредством формирования в дублирующем полотне трехмерных самоорганизующихся структур армирующего полимерно-волокнутого композита.

В качестве текстильной основы при их получении могут использоваться все виды материалов с тканой, нетканой или трикотажной структурой в зависимости от требуемой пластичности основного материала и дублированной детали изделия. Технологию получения и использования композиционных прокладочных материалов иллюстрирует рисунок 1.

В составе материала используются два вида полимерных препаратов: термопластичный клеящий полимер (КП) и армирующий полимер (АП). Сочетания полимерных препаратов подбираются с учетом их способности к химическому взаимодействию в определенный момент технологического процесса. Для этого оба продукта должны иметь концевые реакционно способные группировки, что условно показано на схеме символами в виде круга на концах макромолекул гибкоцепного клеящего и жесткоцепного армирующего полимеров. Для КП предпочтителен вариант регулярного точечного нанесения на подложку. Для нанесения АП используется метод трафаретной (шаблонной) печати с определенной топологией печатного рисунка, которая может варьироваться на разных участках текстильного носителя.

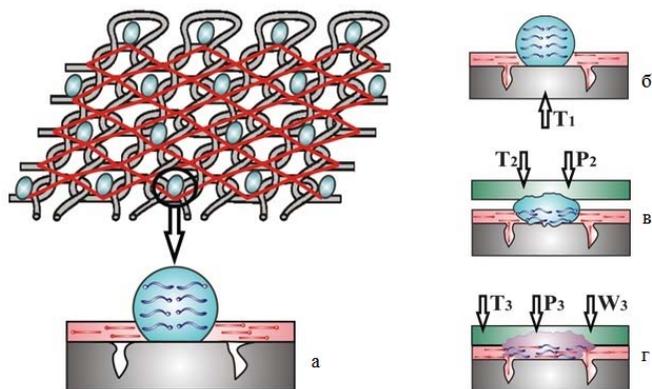


Рисунок 1 - Внешний вид армированного ТПМ типа ПАРМа и стадии его взаимодействия с основным материалом

Схематичное изображение поперечных срезов материала позволяет проследить изменение состояния полимерных компонентов в технологическом процессе с момента нанесения дисперсии АП на текстильный носитель с дискретно распределенным отвержденным КП (фрагмент «б»). Важ-

ное значение имеет взаимосогласованный выбор химических препаратов и условий проведения последовательных стадий процесса. Подсушивание материала (фрагмент «в») осуществляется при температуре ниже точки плавления клеящего полимера ($T_1 < T_{пл}^{КП}$). При этом обеспечивается проникновение жидкофазной дисперсии АП в субмикроскопические поры волокнутого материала и происходит ориентация активных центров макромолекул на межфазной границе с образованиями КП.

Стадия дублирования прокладочного материала с основным материалом детали изделия (фрагмент «г») осуществляется при нагреве выше $T_{пл}^{КП}$, но не достигая температуры иницирования реакций армирующего полимера $T_p^{АП}$ ($T_{пл}^{КП} \leq T_2 < T_p^{АП}$). Это создает условия для пространственной переориентации макромолекул КП в направлении активных центров АП с образованием водородных связей между группировками, например, $R_1 - C(OH) = O \cdots H - NH - R_2$ или $R_1 - C(O) - OH \cdots NH_2 - R_2$. Определенный уровень внешнего давления P_1 обеспечивает точечное проникновение расплавленного, но достаточно вязкого КП в межволоконные пространства поверхностных слоев прокладочного и основного материала. Важное значение на данной стадии имеет сохранение формовочной способности и незначительное повышение жесткости детали.

На заключительной технологической стадии влажно-тепловой обработки, осуществляемой после создания пространственной формы деталей и изделия в целом, должны достигаться эффекты прочного склеивания соединяемых материалов и их армирования для повышения устойчивости объемной формы, как под влиянием внешних нагрузок, так и при эксплуатационных физико-химических воздействиях. В разработанном технологическом процессе (рис. 1, фрагмент «в») закрепление формы осуществляется в условиях влажно-термического прессования при оптимальном давлении для полного вытеснения воздушной прослойки между материалами, расплющивания термопластичного КП и увеличения площади адгезионного скрепления слоев. Степень увлажнения материала и нагрев выше температуры иницирования реакций армирующего полимера $T_p^{АП}$ ($T_3 > T_p^{АП}$) обеспечивают взаимное проникновение полимерных фаз и химическое взаимодействие их активных центров. В результате формируемая деталь швейного изделия представляет собой композит с развитым межфазным слоем сополимерного связующего. При этом благодаря проникновению АП в субмикроскопические поры прокладочного материала межфазный слой имеет щетиноподобную структуру. Именно «щетки», закрепленные внешним концом в слое сополимерного связующего, придают материалу упругие свойства.

Для получения прокладочных материалов разработаны оригинальные составы армирующего компонента. Предлагаемая технология реализует инновационные приемы тонкого регулирования упруго-деформационных

свойств пакета посредством формирования в прокладочном материале трехмерных самоорганизующихся структур армирующего полимера. Благодаря их «шипоподобному» строению наряду с увеличением жесткости текстильного носителя можно добиться повышения характеристик его упругости, что имеет первостепенное значение для обеспечения формоустойчивости швейных изделий.

Использование разработанных прокладочных материалов позволяет получать пакеты с основным материалом, имеющие следующие характеристики: жесткость от $2,75$ до $110 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{см}^2$, упругость $75 - 95\%$, коэффициент несминаемости – не менее 70% , коэффициент драпируемости $10 - 30\%$, стойкость к истиранию – не менее 1500 циклов. Широкий диапазон варьирования упруго-деформационных свойств позволяет быстро адаптировать ассортимент прокладочных материалов под требования конкретных заказчиков в соответствии с назначением изготавливаемых изделий и характеристиками основных материалов.

Список литературы

1. Арбузова А.А. Повышение формоустойчивости полочки мужского пиджака с применением композиционных материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иван. гос. текстил. акад. (ИГТА). Иваново, 2010.

2. Арбузова А.А. Прогнозирование свойств армирующего полимерно-волокнутого композиционного материала для получения формоустойчивого швейного изделия методами компьютерного моделирования. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2015. Т. 1. № 1-1 (1) . С. 113-117.

3. Арбузова А.А. Влияние поверхностной модификации полиэфирной основы армирующего полимерно-волокнутого материала на свойства пакета швейного изделия. Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс): сборник материалов международной научно-технической конференции. 2013. № 2 (1) . С. 77-78.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТЕРАПЕВТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ

¹Артеменко М.В., ²Рыбочкин А.Ф.,

²Калугина Н.М., ⁴Писарев М.В.

¹кандидат биологических наук,

доцент кафедры биомедицинской инженерии

²доктор технических наук, профессор кафедры космического приборостроения и средств связи

³аспирант кафедры космического приборостроения и средств связи

⁴аспирант кафедры биомедицинской инженерии

Юго-Западный государственный университет, Россия

Рассмотрены вопросы применения различных характеристик биомедицинских сигналов полученных в процессе спектрального анализа для использования в составе автоматизированной системы поддержки принятия диагностических решений с использованием прямых и обратных решающих правил и терапевтической обратной связи.

Ключевые слова: биомедицинские сигналы, спектральный анализ, автоматизированные системы поддержки принятия решений.

В настоящее время при исследовании биообъектов различной природы (включая пациентов с различными заболеваниями) находят применение интеллектуальные системы поддержки принятия диагностических решений (СППДР), формирующие рекомендации о необходимости клинического обследования и-или осуществления терапевтического воздействия, например, представленные в работах [2,3]. В работе [1], в частности, в целях повышения качества и объективности диагностики предлагается применение прямых и решающих классификационных правил в составе СППДР.

При лечении различных нозологий врачу постоянно приходится принимать решение о проведении определенного терапевтического воздействия. С точки зрения теории управления, указанный процесс согласно [4] представляет собой цепочку повторяющихся коротежей $TE_{t,\tau} = \{S_t, D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau), Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)\}$ (где S_t - состояние объекта (анализируемой системы организма больного) в момент времени t , $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$ - терапевтическое воздействие переводящая состояние S_t в требуемое $S_{t+\tau}^*$ за время τ , $Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)$ - значение риска перехода объекта из состояния S_t в состояние $S_{t+\tau}^*$). После применения $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$, состояние объекта опознается как $S_{t+\tau}^{**}$. При правильном терапевтическом воздействии состояния $S_{t+\tau}^*$ и $S_{t+\tau}^{**}$ лежат в области допустимого различия, определяемого врачом в зависимости от характера заболевания, его протекания и-или другими ха-

рактическими объектами. Заметим, что в общем случае терапевтическое воздействие $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$ может быть «процессом ожидания» (терапевтического бездействия), с целью отслеживания естественного перехода объекта из одного состояния в другое согласно автономному управлению.

В целях частичной автоматизации терапевтического процесса и-или его оптимизации путем предварительного имитационного моделирования «технологической цепочки» лечебного воздействия, состоящей из не менее чем одного кортежа $TE_{t,\tau}$, предлагается информационно-аналитическая система управления (коррекции) состоянием организма в процессе лечения с использованием *терапевтической обратной связи* (авторский термин) представленная на рисунке 1.

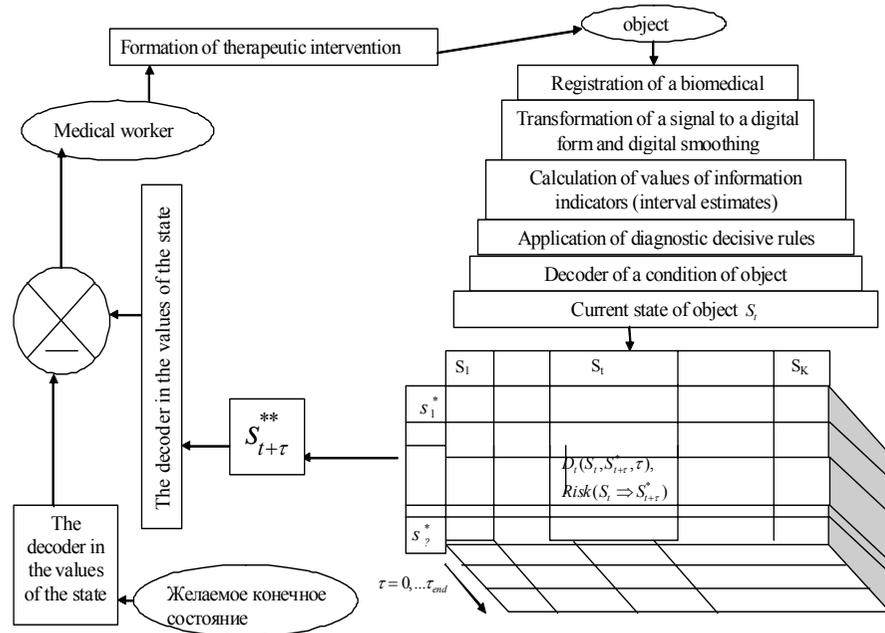


Рисунок 1 - информационно-аналитическая система управления (коррекции) состоянием организма с использованием терапевтической обратной связи

Метод реализации терапевтической обратной связи с применением СППДР согласно предлагаемой системы управления состоянием объекта состоит в следующем. Цель управления: путем последовательного применения кортежей $TE_{t,\tau}$ необходимо привести начальное распознанное СППДР состояние объекта в желаемое конечное состояние. Начальное и последующие распознаваемые состояния определяются следующим образом. регистрируется определенный биомедицинский сигнал (ЭКГ, ЭЭГ,

ФПГ и т.п.), который переводится в цифровую форму (с последующей, в случае необходимости, фильтрацией и сглаживанием). Затем, осуществляется вычисление численных значений информационных показателей и, поскольку процесс регистрации и дальнейших вычислений обладает определенными погрешностями, определяются интервальные оценки полученных значений.

На этапе обучения СППДР идентифицируются диагностические классификационные решающие правила позволяющие с определенной и приемлемой для диагностического процесса уверенностью определять различные состояния объекта (осуществляется в модулях «Decoder of a condition of object» и «Current state of object S_t »). Затем реализуется кортеж $TE_{t,\tau} = \{S_t, D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau), Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)\}$ и, после сравнения действительного, вновь возникшего через время τ состояния $S_{t+\tau}^*$, и желаемого конечного состояния, медицинским работником формируется определенное терапевтическое воздействие (в модуле «Formation of therapeutic intervention»), применяемое к объекту (организму больного). Сравнение осуществляется путем выявления и анализа различий в интервальных оценках показателей, соответствующих определенным состояниям объекта, в «The decoder in the values of the state» (база знаний модулей формируется СППДР предварительно на этапе обучения системы). Таким образом, реализуется механизм отрицательной обратной терапевтической связи, который (в соответствии с теорией автоматического управления) может реализовывать: устойчивое приближение к финальному состоянию, не поддающийся управлению процесс отдаления от финального состояния, стагнацию определенного состояния (между начальным и конечным).

В качестве информационных показателей, характеризующих состояние организма в текущий момент времени предлагается использовать характеристики различных биомедицинских сигналов, идентифицированных согласно предложенным в [5] математическим методам и алгоритмам хорошо зарекомендовавшим себя в клинической медицине.

В частности при анализе сигналов ЭКГ, ЭЭГ, ФПГ, дыхательных волн, реограммы и-или иных биомедицинских сигналов, интегрально характеризующих состояние организма больного предлагается идентифицировать следующие информативные частотные показатели:

- прямые: частоты, мощности, действительные и мнимые части разложенный биомедицинского сигнала, представленного в цифровой форме, в ряды, идентифицированных с помощью Фурье преобразования и гармонических алгоритмов МГУА;
- латентные: первые минимумы и максимумы на низких частотах (первые гармоники), глобальные максимумы на всем спектре, близлежащие к локальным максимумам минимумы (на сопряженных частотах), функциональные зависимости между действительными и мнимыми частями спектров в диапазонах частот, определенных для сигнала Фурье преобразова-

нием : $[f_{min}, f_{max}]$ и $[f_{max}, 2f_{max} + f_{min}]$, где f_{min}, f_{max} - соответственно, частоты первого минимума на низких частотах и спектра в целом.

В реальных клинических условиях оказания помощи больному использование рассмотренной модели информационной поддержки рекомендуется в качестве контролирующей и-или прогностической системы. Поскольку в данном случае на этапе обучения СППДР когнитолог осуществляет наукоемкую и практически значимую систематизацию состояний, терапевтических воздействий и их взаимосвязь (в виде решающих правил), то предлагаемая информационно-аналитическая модель применима в процессе повышения квалификационного уровня медицинского персонала и поиска оптимальных терапевтических технологий.

Список литературы

1. Артеменко М.В., Добровольский И.И., Мишустин В.Н. Информационно-аналитическая поддержка автоматизированной классификации на основе прямых и обратных решающих правил на примере прогноза тромбоза. // Современные наукоемкие технологии. – 2015. №12 (часть 2). – с.199-205.
2. Артеменко М.В., Серебровский В.В., Бабков А.С. Информационно-аналитическая модель принятия решений в процессе диагностики рака желудка // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-1. – с. 18-23.
3. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Шерстюк Ю.М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. – СПб. ООО «ИПК «Коста», 2006. – 432 с.
4. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. -359 с.
5. Рангайян, Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход : учебное пособие / Р. М. Рангайян. - М. : Физматлит, 2007. - 440 с.

ПРОБЛЕМНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ

*Астанова Мохира Мухтаровна, ассистент-преподаватель
Каршинский государственный университет, Узбекистан*

В статье проанализирована проблемное изложение учебного материала на лекциях, когда преподаватель ставит проблемные вопросы, выстраивает проблемные задачи. Устанавливается, что при проблемном изложении учебного материала перед учащимися раскрываются не только конечные результаты исследований, но и логика поиска решений рассматриваемой проблемы.

Развитие творческих возможностей человека возможно в деятельности, требующей творчества. Творчество применительно к процессу обучения можно определить как «форму деятельности обучающего, направленную на создание объективно или субъективно качественно новых для него ценностей, имеющих общественное значение, т.е. важных для формирования личности как общественного субъекта» [1].

Для приобретения опыта творческой деятельности обучаемый должен оказаться перед лицом новых для него проблем, которые ему самому надо

решить в процессе поиска. Для целей обучения важно, чтобы субъективно новое - создавалось путём осуществления специфических, творческих процедур. Творческая деятельность опирается на ранее приобретённый фонд знаний и умений и без него невозможна. Знания и умения обеспечивают поле поиска; опыт творческой деятельности формирует способность этот поиск осуществлять, т.е. превратить эти знания и умения в инструмент творческого решения. В ходе усвоения опыта творческой деятельности находят применение усвоенные способы деятельности, но применённые в новой ситуации, требующей творческого поиска, «В самой сущности творческой деятельности заключена та ее особенность, что для ее осуществления нельзя указать систему действий. Эти системы создаются самой личностью» [3]. Тем самым достигается новый уровень усвоения навыков и умений.

Усвоение опыта творческой деятельности осуществляется путём использования проблемных методов обучения. При формировании учебно-познавательной деятельности в процессе изучения специальных дисциплин в ПК следует ввести методы проблемного обучения: *проблемное изложение, частично-поисковую деятельность, исследовательскую деятельность.*

Проблемное обучение, ставя обучаемого перед необходимостью решать новые, нестандартные задачи жизненную важность и значимость, которых они осознают, развивает умение ориентироваться в новых условиях, комбинировать запас имеющихся знаний и умений для поиска недостающих, выдвигать гипотезы, строить догадки, искать пути более надёжного и точного решения.

Метод проблемного изложения. Большие возможности в этом смысле представляет проблемное изложение учебного материала на лекциях, когда преподаватель ставит проблемные вопросы, выстраивает проблемные задачи. При проблемном изложении учебного материала перед учащимися раскрываются не только конечные результаты исследований, но и логика поиска решений рассматриваемой проблемы.

Исследовательский метод. Назначение исследовательского метода заключается в организации поисковой деятельности обучаемых по решению проблем и проблемных задач, при выполнении лабораторных работ. Построение системы таких задач позволяет преподавателю программировать деятельность обучаемых, постепенно приводящую к формированию необходимых черт творческой деятельности. Использование исследовательского метода направлено, во-первых, на формирование черт творческой деятельности; во-вторых, на организацию творческого усвоения знаний; в-третьих, на обеспечение овладения методами научного познания в процессе деятельности; в-четвёртых, на формирование интереса, потребности в творческой деятельности.

Эвристический метод предполагает поэтапное и пооперационное усвоение опыта творческой деятельности. Затруднения обучаемых при ре-

шении проблемной задачи преодолеваются путём её расчленения на серию подзадач, заменой сложной задачи сходной, но более простой, чтобы затем вернуться к первой. Используя эвристический метод, преподаватель направляет поиск, последовательно ставит проблемы, формулирует противоречия, создаёт конфликтные ситуации, сам строит шаги выполнения задания, а обучаемые самостоятельно ищут решение частей проблемы, возникающих на каждом звене выполнения задания.

Организация познавательной деятельности учащихся, в соответствии с проблемными методами приближает обучение к реальной деятельности. Высокий уровень проблемного метода достигается за счёт использования диалоговых форм работы. При такой организации занятий выявляются собственные позиции обучаемых, обретается личностный смысл получаемых знаний, происходит подготовка учащихся к самостоятельной деятельности.

Диалоговые методы обучения являются важнейшей составляющей современного обучения. «Диалог задаёт контекст совместной учебной деятельности, в котором происходит развитие субъекта этой деятельности» [88]. Диалоговый способ познания определяет представления о современном характере знания как результате совместной деятельности людей.

Анализ многих исследований [3,4] позволил выделить следующие отличительные черты диалоговых методов: личностное равенство; субъект - субъектные отношения; централизация не только на своих потребностях, но и на потребностях других учащихся; накопление потенциала согласия и сотрудничества; свобода дискуссии, передача норм и знаний как личностно пережитого опыта, требующего индивидуального осмысления; стремление к творчеству, личностному и профессиональному росту, импровизаторству, экспериментированию; преобладание приемов, ориентированных на самостоятельную деятельность учащихся; стремление к объективному контролю результатов деятельности.

Диалоговые методы обучения (дискуссия, диалоги, деловые игры и др.) позволяют интенсифицировать процесс формирования учебно-познавательной деятельности. Они могут реализовываться как во время аудиторных занятий на лекциях, семинарах, практических, лабораторных занятиях, так и во внеаудиторное время на консультациях, факультативах, заседаниях творческой группы и т.д.

Деловая игра. Учебно-познавательная деятельность учащихся выражается через познавательную учебную деятельность - это основная форма деятельности учащегося, направленная на изменение самого себя как субъекта учения. Одной из форм, воссоздающей предметное содержание будущей профессиональной деятельности специалиста является деловая игра. В процессе игровой деятельности происходит обучение действию посредством самого действия. Учащийся выполняет квазипрофессиональную деятельность, несущую в себе черты как учебной, так и будущей профессиональной деятельности. Усвоение знаний и умений осуществляется в кон-

тексте профессии. «Деловая игра оказывает влияние на развитие эмоционально-волевой стороны личности, учит управлять своими эмоциями, организовывать свою деятельность. Деловая игра снимает трудности мотивационного обеспечения процесса обучения» [5].

Учебный процесс должен происходить в условиях мотивированного включения обучающегося в познавательную деятельность, которая становится желаемой, привлекательной, приносящей удовлетворение от участия в ней. Учащийся сам оперирует учебным содержанием, и только в этом случае оно усваивается осознанно и прочно при этом развивается интеллект, формируется способность к самообучению, самообразованию, самоорганизации, т.е. формируется учебно-познавательная деятельность. При этом значительная часть учебного времени отводится на формирование умений: учебно-коммуникативных, учебно-рефлексивных, учебно-организационных, учебно-интеллектуальных, учебно-информационных.

Список литературы

1. Профессиональная педагогика. - М., 1997. - 512 с.
2. Батышев С.Я. Подготовка рабочих в средних профессионально-технических училищах. - М.: Высшая школа, 1988. - 345 с.
3. Баходирова Г.К., Якубов С. Х. Формирование учебно-познавательной деятельности учащихся профессионального колледжа.- Карши: КаршГУ, 2016.-177 с.
4. Леднев В.С. Содержание образования. - М.: Высшая школа, 1991. - 224с.
5. Олимов К.Т. Учебно-методическое обеспечение специальных дисциплин в системе среднего специального и профессионального образования// Узлуксиз таълим, 2004, №4, - С. 68-75

СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ ДРЕВЕСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ

*Ахунова Лилия Вакифовна, аспирант кафедры «АрД»
Гараева Айгуль Фанисовна, магистрант кафедры «АрД»
Хасанишин Руслан Ромелевич, к.т.н., доцент кафедры «АрД»
РТ, г. Казань, Казанский национальный исследовательский университет*

Исследованы способы получения нетоксичных, биоразлагаемых древесных панелей, рассмотрен оптимальный состав древесного наполнителя. Проведен ряд испытаний в результате которых полученный материал показал высокие физико-механические характеристики.

Ключевые слова: ПВС, древесная мука, термомодифицирование, биоразложение

В настоящее время большая часть мебели изготавливается из древесно-стружечных плит (ДСП). Между тем, формальдегид, содержащийся в них, является высокотоксичным аллергенным веществом, который, попадая с воздухом на слизистые оболочки дыхательных путей, вызывает тяжелые заболевания. В связи с этим актуальными являются исследования по созданию альтернативных древесно-стружечным плитам панелей, абсолютно

безвредных на стадии изготовления и эксплуатации, а так же являющихся экологически безопасными на стадии утилизации [1].

Одними из таких материалов могут быть композиты на основе поливинилового спирта (ПВС) [2]. Для территории России целесообразнее исследовать и внедрить биоразлагаемые полимеры на основе древесного наполнителя, поскольку деревообрабатывающие предприятия производят большое количество древесных отходов. Таким образом, помимо основной задачи получения экологически чистых панелей, применимых в будущем для изготовления мебели и различных теплоизоляций, применение древесной муки позволит решить и проблему утилизации отходов [3] деревообработки.

Для получения опытных образцов были использованы следующие компоненты:

- 1) поливиниловый спирт;
- 2) в качестве основного наполнителя древесная мука сосны или древесная мука сосны после термомодифицирования при температуре 220 °С в течении одного часа.

Смешивание ПВС с водой производили медленно нагревая до 120 °С и перемешивая до образования гомогенного раствора. Смешение раствора ПВС с древесной мукой смешивали до получения однородного раствора. Далее были получены пластины из композита методом литья.

Полученный литьевой раствор распределяли на стеклянные пластины с помощью специального металлического ножа. Сформированные массы образцов сушили в вакуумной камере при температуре 70 °С до постоянной массы.

Далее были измерены относительное удлинение (Δl), предел прочности при растяжении (σ_b), и модуль Юнга (E) для каждого образца.

Затем образцы обоих видов подвергались исследованию на биоразложение. Подготовка почвы для тестирования образцов заключалась в предварительной сушке, измельчении и смешении с мочевиной с целью стимуляции активной микробной флоры. Тестирование образцов осуществляли погружением на глубину 200 мм во влажную почву на 60 дней. Тестовую среду ежедневно увлажняли для компенсации испаренной влаги и бороили для аэрации. После выдержки в почве испытываемые образцы извлекали, промывали водой, и сушили в вакууме до постоянного веса. Относительную потерю массы композита определяли по следующей формуле:

$$\varphi = \frac{m_0 - m_g}{m_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

где m_0 – начальная масса сухой композитной пластины и m_g – масса композитной пластины после выдержки в почве.

Для определения водопоглощения образцы композита были погружены в дистиллированную воду на десять дней, с выдержкой при комнатных условиях. Водопоглощение определяли по следующей формуле

$$\varphi' = \frac{m_\omega - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

где m_ω – масса композитной пластины после выдержки в воде.

Анализ результатов прочностных характеристик испытываемого материала показал, что предел прочности на растяжение для композитов с немодифицированным наполнителем выше, чем для композитов с древесным наполнителем, подвергнутым предварительной обработке, что объясняется ухудшением смачиваемости термически модифицированных древесных частиц (рис. 1).

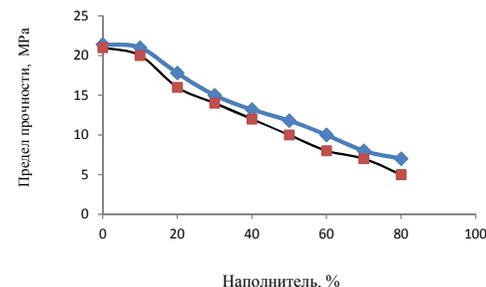


Рисунок 1 - Предел прочности на растяжение

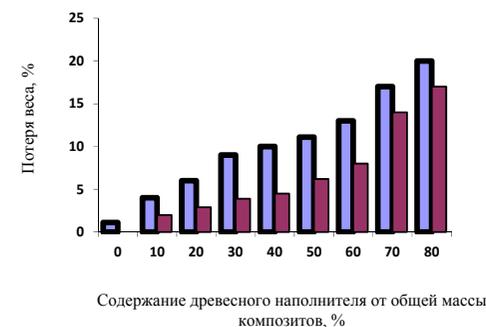


Рисунок 2 - Потеря массы полимерной пластины после 60 дней
 – ПВС без наполнителя,
 – Композит с немодифицированным древесным наполнителем,
 – Композит с термически модифицированным древесным наполнителем

Из рисунка 2 видно, что способность к биологическому разложению композитных пластин увеличивается с увеличением содержания древесной

муки в составе композита, а немодифицированный древесный наполнитель в большей степени увеличивает биоразложение композита, чем термически обработанный [4].

Поскольку высокое поглощение влаги ухудшает механические свойства материала и изменяет размеры образцов, поглощение воды является важной проблемой при работе с композитами. В этой связи было проведено исследование влияния характера и количества наполнителя на поглощение воды композитом. Результаты эксперимента на водопоглощение образцов приведены на рисунке 3. Из гистограммы видно, что образцы с термомодифицированным древесным наполнителем менее восприимчивы в водной среде, что объясняется снижением водопоглощения самого наполнителя ввиду его термической обработки [5].

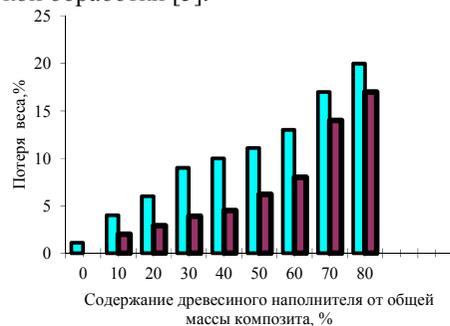


Рисунок 3 - Поглощение воды композитом

- ПВС без наполнителя,
- Композит с немодифицированным древесным наполнителем,
- Композит с термически модифицированным древесным наполнителем

В результате проведенных исследований установлено, что древесная мука увеличивает способность к биологическому разложению. При этом предварительная термическая обработка древесного наполнителя снижает водопоглощение и способность к биодegradации, что может позволить регулировать продолжительность жизненного цикла изделия в зависимости от требуемых условий эксплуатации. Таким образом, управляя типом и количеством добавок в композиционном материале, можно получить композитные панели с заранее заданными свойствами.

Работа выполнялась при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-5596.2016.8).

Список литературы

1. Влияние высокотемпературной обработки на химический состав древесного наполнителя Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность* 2016 № 1 с. 50-55.

2. Повышение экономической эффективности фанерных предприятий Сафин Р.Р., Гараева А.Ф., Ахметов А.И. Сборник «Актуальные вопросы развития современного общества» сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции 2016 с.266-268.

3. Перспективное направление в области упаковки Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. Сборник «Наука вчера, сегодня, завтра: теория и практика» материалы II Международного электронного симпозиума. НОУ ВПО «Университет Российской академии образования»; УДПО «Махачкалинский центр повышения квалификации»; Научно-издательский центр «Инноватика». 2016. С. 99-107.

4. Исследование механических характеристик биоразлагаемого композита на основе древесного наполнителя Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность* 2016 №2 с.41-45.

5. Изменение степени разложения биоразлагаемого древесного композита на основе поливинилового спирта при различной температурной обработке Ахунова Л.В., Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. Сборник «Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире» сборник статей Международной научно-практической конференции 2016 с. 337-340.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ашихмина М.В., студентка

Кислицын Е.В., старший преподаватель

Уральский государственный экономический университет

В статье рассматриваются практические аспекты применения нейронных сетей. В частности, приводятся примеры использования нейронных сетей в науке, медицине и IT-технологиях. Авторами приводятся основные преимущества использования нейросетевых технологий, а также перспективы их развития.

Ключевые слова: нейронная сеть, нейросетевые технологии, машинное обучение, разработка информационной системы.

Человеческий мозг может распознавать различные объекты, звуки, лица людей, даже если в поле зрения находится множество посторонних вещей или видимое пространство плохо освещается. Современные персональные компьютеры на сегодняшний день не могут выполнять такие задачи на достаточно высоком уровне.

Компьютер не будет работать даже от небольших поломок в CPU, в то время как человеческий мозг будет дальше функционировать, если погибнет несколько его клеток. Но самое интересное то, что человеческий мозг может обучаться, ведь ему не требуется никаких обновлений или программного обеспечения для изучения чего-то нового.

Как известно, головной мозг состоит из большого числа нейронов, связанных между собой, которые передают информацию друг другу, посылая электрические импульсы. Именно такие особенности головного мозга и

легли в основу создания искусственных нейронных сетей¹. Отсюда схожесть таких нейронных сетей с человеческим мозгом: способность выполнять сложные операции распознавания образов, обучение, способность к функционированию даже в случае разрушения некоторых связей между нейронами.

Искусственные нейронные сети можно применять в различных областях науки: от обучения распознавания рукописного текста до классификации различных форм рака, от управления финансовыми рисками предприятий и государства²³ до поддержки принятия решений в корпорациях⁴⁵. Но, чтобы нейросети смогли решать поставленные задачи, их необходимо обучать (тренировать)⁶. Процесс обучения нейронной сети напоминает процесс изучения чего-либо человеком. Для обучения нейронной сети необходимо большое количество информации для наиболее качественного программирования системы. Моделирование обучения с помощью компьютера предполагает постоянное изменение весовых коэффициентов и порогов таким образом, что классификация приобретает более высокий уровень после каждого шага обучения. Весовые коэффициенты представляют собой значения, которые определяют веса связи между нейронами в сети. Порогами являются значения, с которыми сравниваются весовые коэффициенты, чтобы определить правильность таких связей, после чего веса меняются в меньшую или большую сторону (можно сравнить с закреплением информации в памяти человека при повторении информации)⁷.

Но не всегда возможно решить задачу с помощью одного порога для нейронной сети. Для того, что решить более сложные задачи, вводятся дополнительные пороги (скрытые уровни порогового элемента), которые

¹ Розенблат Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. // Москва, Мир, 1965, с. 302.

² Батыршина Ю. Г., Кислицын Е. В. Управление финансовыми рисками с использованием нейросетевых технологий [Текст] // Экономика, право и образование в условиях риска и неопределенности: тенденции и перспективы развития: материалы I международной научно-практической конференции / Екатеринбург, Уральский государственный экономический университет, 2016, с. 14-18.

³ Батыршина Ю. Г., Кислицын Е. В. Использование нейросетевых технологий при управлении финансовыми рисками предприятий и государства [Текст] // Экономика, право и образование в условиях риска и неопределенности: тенденции и перспективы развития: материалы I международной научно-практической конференции / Екатеринбург, Уральский государственный экономический университет, 2016, с. 33-37.

⁴ Виноградова Е. Ю., Шориков А. Ф. Применение нейросетей для задач поддержки принятия управленческих решений [Текст] // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: материалы VI международной научно-практической конференции / Екатеринбург, Уральский государственный экономический университет, 2008, с. 13-14.

⁵ Виноградова Е. Ю. Архитектура нейронных сетей для решения задач управления предприятием [Текст] // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: материалы VI международной научно-практической конференции / Екатеринбург, Уральский государственный экономический университет, 2008, с. 37-41.

⁶ Виноградова Е. Ю. Технология использования нейромоделей для решения задач управления производством [Текст] // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: материалы VI международной научно-практической конференции / Екатеринбург, Уральский государственный экономический университет, 2008, с. 55-56.

⁷ Калан Р. Основные концепции нейронных сетей // Перевод с английского – Москва, Издательский дом "Вильямс", 2001.

производят частичную классификацию входных данных и посылают результат на последний уровень. Затем на последнем уровне собираются все частичные классификации с различных порогов и составляется окончательная классификация, которая считается выходными данными.

Однако, существует очень серьезная проблема при обучении нейронных сетей: проблема переобучения.

Переобучение происходит тогда, когда построенная модель хорошо работает на примерах из обучающих входных данных, но в большинстве случаев не работает на примерах, которые не участвовали в обучении. Это связано с тем, что в процессе обучения в обучающей выборке нейронные сети обнаруживают случайные закономерности, которые отсутствуют в генеральной совокупности. Наглядным примером может послужить случай, когда нейронная сеть обучалась распознавать танки на фотографиях, однако позже стало ясно, что все танки, которые предлагались для обучения, были сфотографированы на одном и том же фоне. В результате нейронная сеть распознавала тип ландшафта, а не танки⁸.

Для оценки производительности нейронных сетей, необходимо тестировать их на независимых данных, которые не использовались во время обучения сети. Обычно производится перекрестная проверка, где набор данных делится, например, на несколько комплектов одинакового размера. Тогда, сеть обучается по 9 комплектам и тестируется на десятом, и эта операция повторяется десять раз, так что все наборы используются для тестирования. Это дает оценку способности сети к обобщению, то есть, ее способности классифицировать входные данные, которым сеть не была обучена. Чтобы получить объективную оценку, что является очень важным, отдельные наборы не должны содержать похожие примеры.

Приведем несколько примеров обученных искусственных нейронных сетей, которые существуют в настоящее время:

1. Программа, умеющая распознавать речь. В качестве обучающих входных данных использовались аудиоклипы с описаниями. Первая представленная версия программы распознавания речи имела 25% ошибок, но спустя три года осталось только 8%.

2. Алгоритм распознавания лиц DeepFace. Был предложен организацией Facebook. Алгоритм работает всего с 3% погрешности.

3. Цифровой персональный ассистент Cortana. Создан компанией Microsoft. Обладает такой высокой точностью, что может различить на фотографии породы собак пемброк-вельш-корги и кардиган-вельш-корги.

4. Компания Amoco использует искусственные нейронные сети с надежностью 95% для выделения характерных пиков в показаниях сейсмических датчиков. Причем скорость анализа данных увеличилась в 8 раз по сравнению с ручной обработкой.

⁸ Близначева А. По образу и подобию: искусственный разум [Текст] // Популярная механика, 2004.

5. Алгоритм, умеющий распознавать маммограммы злокачественной ткани. Разработан исследователями из университета Дьюка и может решать задачи с точностью в почти 100%. Также может эффективно предсказывать возникновение рецидива.

6. Программа для предупреждения инфаркта миокарда. Разработана фирмой RESInformatica в Англии. Обученная нейросеть имеет точность 92%.

Необходимо заметить, что людьми исследуются только те алгоритмы, для которых существует возможность создать хорошие модели, а не алгоритмы, с помощью которых можно понять свойства мышления и работу мозга, а также создать систему искусственного интеллекта. Это говорит о том, что людям необходимо полное понимание работы биологических систем обработки информации, что является одной из проблем развития нейронных сетей.

Также одной из проблем является недостаточная обоснованность выбора методов оптимизации в процедуре обучения искусственных нейронных сетей, что приводит к большой погрешности решения задач и большому времени обучения.

Но помимо проблем развития, нейронные сети имеют достаточно большое количество преимуществ:

1. В области протезирования может произойти большой скачок технологий благодаря быстрдействию и малому энергопотреблению чипов нейронных сетей (процессор может выступать в роли связующего звена между механическим процессом и нервной системой человека). Кроме того, существует вероятность создания в будущем устройств, которые могут заменить человеку органы чувств (зрение, слух и т.д.).

2. Распознавание различных объектов может использоваться в робототехнике для создания новых технологий или для усовершенствования уже имеющихся.

3. Благодаря тому, что нейросети могут анализировать также запахи, звуки и физические или химические процессы, которые человек не может ощутить, то искусственные нейронные сети можно использовать на предприятиях, например, для выявления уровня вредных веществ в рабочей среде.

4. При успешном обучении нейросетевая модель будет более точной, чем современные программы, при работе со сложными математическими операциями и описаниями.

Таким образом, искусственные нейронные сети могут применяться во многих областях науки для решения интересных проблем, причем качество решений может быть намного выше, чем при решении той же проблемы человеком, но для этого требуется много усилий, чтобы верно обучить модель с наименьшей погрешностью.

При решении основных проблем развития нейронных сетей в ближайшем будущем произойдет много открытий в различных областях наук,

производства и даже жизни общества. А при развитии данной технологии в ближайшем будущем она даже сможет заменить людей на многих работах, поэтому будет необходимо изучать новые технологии, чтобы работать с ними и обслуживать.

КОРРОЗИОННО- И ИЗНОСОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ЦИНК-БОР

*Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,
декан технологического факультета,*

Потоцкая Елена Александровна, студентка,

Балакай Илья Владимирович, магистр

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова*

Разработан электролит для нанесения сплава цинк-бор, взамен кадмиевых покрытий. Исследованы физико-механические свойства покрытий на основе сплава цинк-бор в зависимости от состава электролита и режимов электролиза.

В настоящее время для защиты материалов от коррозии применяют различные материалы и методы. Наиболее широкое распространение в промышленности получила так называемая анодная защита покрытиями из таких металлов, как цинк и кадмий. Однако дефицитность кадмия суживает область его применения. Коррозионная стойкость цинковых покрытий при определенных условиях эксплуатации ниже стойкости кадмиевых покрытий. Повышение коррозионной стойкости цинковых покрытий, возможно достичь за счет увеличения их толщины, разработки сплавов и композиционных электролитических покрытий на основе цинка.

Для замены кадмиевых покрытий в морских условиях эксплуатации рекомендуются сплавы цинка с кобальтом, никелем, молибденом, хромом, индием и др. [1 – 5]. Кроме того, замена токсичного кадмиевого покрытия позволит значительно улучшить экологическую обстановку. Покрытия с малым содержанием никеля (до 2 %) являются анодными, с большим содержанием никеля – катодными. Цинк-никелевые сплавы с малым содержанием никеля пассивируются дополнительно в растворе хромового ангидрида для увеличения коррозионной стойкости. Наибольшую коррозионную стойкость сплав цинк-кобальт показывает при содержании кобальта в сплаве 10 – 14 %. Цинк-индиевый сплав обладает высокой коррозионной стойкостью [5].

Существенный недостаток этих бинарных сплавов на основе цинка в том, что они содержат редкие (индий) и дефицитные (кобальт и никель) материалы. Покрытия с никелем и кобальтом улучшают коррозионную стойкость, но незначительно и требуют дополнительной обработки в пас-

свирующих растворах. Из выше изложенного можно сделать вывод, что эти сплавы не обеспечивают в полной мере коррозионную стойкость в морской атмосфере.

На основании данных предварительных исследований было показано, что у покрытий на основе сплавов, содержащих бор, увеличивается коррозионная стойкость, микротвердость и износостойкость. Например, у сплавов никель-бор по сравнению с чистым никелем, серебро-сурьма-бор по сравнению со сплавом серебро-сурьма. Поэтому, для увеличения коррозионной стойкости, микротвердости и износостойкости цинковых покрытий предложено легировать их бором.

Для осаждения более коррозионностойкого и износостойкого сплава на основе цинка выбрали электролит состава, г/л: сульфат цинка 200 – 300, сульфат алюминия 20 – 30, сульфат натрия 50 – 100, декстрин 8 – 10 [3].

Цинковые покрытия, осажденные из данного электролита, имеют низкую коррозионную стойкость в среде, содержащей анион хлора.

Используя метод математического планирования экстремальных экспериментов Бокса-Уилсона разработан электролит для нанесения сплава цинк-бор состава, г/л: сульфат цинка 200 – 300, сульфат алюминия 20 – 30, сульфат натрия 50 – 100, декстрин 8 – 10, боросодержащая добавка 1,0 – 5,0. Режим электролиза: pH 3,5 – 4,5, температура 18 – 30 °С, катодная плотность тока 1 – 4 А/дм².

Результаты измерений физико-механических свойств покрытий на основе сплава цинк-бор и свойства электролита приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства покрытий

Характеристики электролита и покрытий на основе сплава цинк-бор	Показатели покрытий
Микротвердость, МПа	1940 – 2180
Сцепление с основой из меди и ее сплавов	Удостоверяет ГОСТ 9.302-94
Внутренние напряжения, МПа	320 – 380
Пористость при толщине покрытия 9 мкм, пор/см ²	5 – 9
Выход по току, %	94 – 7
Содержание бора в сплаве, мас. %	0,5 – 5,1
Стабильность электролита, %	100
Коррозионная стойкость сплава (скорость коррозии), г/м ² ч	0,030 – 0,038
Скорость осаждения, мкм/мин	41 – 48

Приготовление электролита для нанесения сплава цинк-бор осуществляется следующим образом. Отдельно растворяется сульфат цинка, алюминия и натрия при температуре 70 – 80 °С, а также декстрин при тем-

пературе 50 – 60 °С. После чего растворы сливают вместе, доводят pH электролита, корректируя либо разбавленным раствором серной кислоты (100 г/л), либо раствором гидроксида натрия (100 г/л) и вводят боросодержащую добавку.

Коррозионные испытания, проведенные в 3 %-ном растворе хлорида натрия и в соляном тумане, показали, что у сплава цинк-бор коррозионная стойкость увеличивается 3,0 – 3,3 раза по сравнению с чистым цинковым покрытием. Оценку производили по времени до появления первых очагов коррозии.

В камере (эксикатор объемом 5 л) соляного тумана сплав цинк-бор выдерживает испытания до появления первых очагов коррозии основного металла в течении 700 – 800 ч, в то время как цинковые покрытия в течении 100 – 150 ч. Испытания в камере влаги показали, что по истечению 56 сут на поверхности гальванических покрытий цинк-бор наблюдается незначительное изменение цветности.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что покрытия на основе сплава цинк-бор в некоторых случаях может заменить кадмиевые покрытия.

Список литературы

1. Коробов В.И., Лошкарев Ю.М., Трофименко В.В., Чмиленко Ф.А., Батулин А.Н. Электроосаждение легированных молибденом цинковых покрытий // Экологические проблемы в области гальванотехники: Тез. докл. межресп. науч.-техн. конф., 22 – 26 апр. 1991 г. – Киев: РДНТП, 1991. – С. 29 – 30.
2. Пулина Н.С., Кодомской Л.Н., Назаров В.А. Электроосаждение сплавов цинк-никель с целью замены кадмиевых покрытий // Совершенствование технологии гальванических покрытий: Тез. докл. конф. – Киров: КПИ, 1986. – С. 55.
3. Виноградов С.Н., Виноградов О.С., Мальцева Г.Н. Покрытие сплавом цинк-кобальт как альтернатива кадмиевому покрытию // Защитные покрытия в машиностроении и приборостроении: Сб. материалов. – Пенза: ПЗД, 2001. – С. 3 – 5.
4. Виноградов С.Н., Виноградов О.С., Коланов А.А., Фаина О.В. Исследование электроосаждения покрытия сплавом цинк-хром // Защитные покрытия в машиностроении и приборостроении: Сб. материалов. – Пенза: ПЗД, 2001. – С. 8 – 9.
5. Атрашкова В.В., Стефанюк С.П., Курилович Г.И. Защитные покрытия на основе цинка с повышенной коррозионной стойкостью // Совершенствование технологии гальванических покрытий: Тез. докл. конф. – Киров: КПИ, 1986. – С. 54.

**ЗАВИСИМОСТЬ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ
В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ НИКЕЛЬ-ФТОРОПЛАСТ
ОТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

*Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,
декан технологического факультета,*

*Потоцкая Елена Александровна, студентка,
Старунов Алексей Викторович, аспирант*

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова*

Исследованы внутренние напряжения, которые возникают в композиционных электролитических покрытиях, в зависимости от состава электролита и режимов электролиза.

Одной из наиболее важных задач в гальванотехнике является разработка новых материалов и электролитов для их осаждения, которые обладают повышенными физико-механическими свойствами.

Предложено, с целью увеличения износостойкости, микротвердости и т.д. полученных осадков, в хлоридный электролит для нанесения сплава никель-кобальт ввести оксид кремния.

На основании предварительных исследований разработан хлоридный электролит для нанесения композиционного электролитического покрытия (КЭП) состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 200 – 350, хлорид кобальта семиводный 3 – 12, оксид кремния 5 – 35, борная кислота 25 – 40, хлорамин Б 1,5 – 4,0. Режимы электролиза: рН 3,0 – 5,0, температура 18 – 60 °С, катодная плотность тока 1,0 – 10,0 А/дм², перемешивании магнитной мешалкой со скоростью 80 – 120 об/мин.

Физико-механические свойства электролитических осадков являются существенной характеристикой качества покрытий, и определяют их применимость в той или иной области техники. Одним из основных свойств, определяющих износ- и коррозионную стойкость электролитических покрытий, является их пористость. Изучение электролитических покрытий показывает, что пористость осадка в сильной степени зависит от возникновения в нем внутренних напряжений, от качества предварительной подготовки поверхности перед нанесением покрытий, материала основы, загрязнения и рН электролита, выход по току (ВТ), режимов электролиза и т.д.

Исследована зависимость внутренних напряжений (ВН) КЭП никель-фторопласт, осажденных из хлоридного электролита, от толщины покрытия, концентрации оксида кремния и режимов электролиза (рис. 1 – 4). Измерения производили в момент окончания электролиза. Наблюдали напряжения растяжения.

Как видно из рис. 1 ВН с увеличением рН вначале уменьшаются от 260 до 245 МПа при изменении рН от 1,0 до 3,0, а затем увеличиваются от 245 до 270 МПа при увеличении рН от 3,0 до 5,0. С увеличением температуры

электролита от 20 до 60 °С ВН уменьшаются от 245 до 160 МПа при рН 1,0 и катодной плотности тока 5 А/дм² (рис. 2). При увеличении катодной плотности тока от 1 до 6 А/дм² ВН возрастают от 240 до 290 МПа (рис. 3), при рН электролита 1,0 и температуре 20 °С. С увеличением толщины никелевых покрытий от 1 до 15 мкм ВН уменьшаются от 285 до 230 МПа (рис. 4).

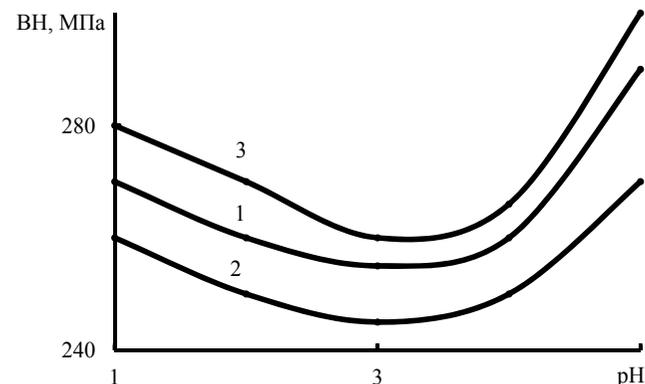


Рисунок 1 – Зависимость ВН КЭП никель-кобальт-оксид кремния, осажденных из электролита состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 250, борная кислота 35, сахарин 1,5, БД 0,5 мл/л, оксид кремния: 1 – 2; 2 – 5; 3 – 10 при температуре 20 °С, катодной плотности тока 5 А/дм² и толщине покрытия 6 мкм от рН электролита

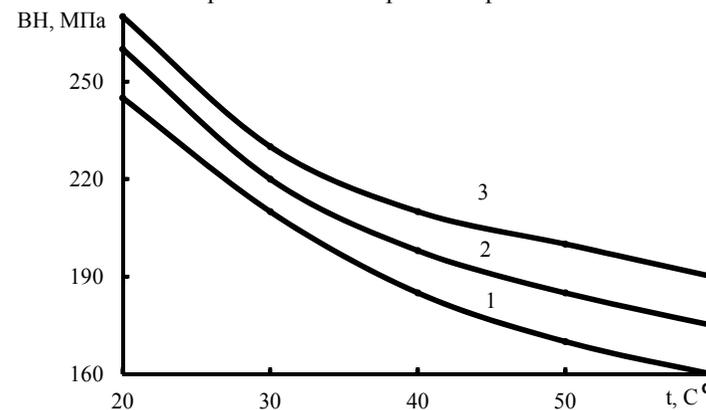


Рисунок 2 – Зависимость ВН КЭП никель-кобальт-оксид кремния, осажденных из электролита состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 250, борная кислота 35, сахарин 1,5, БД 0,5 мл/л, оксид кремния 5 при катодной плотности тока 5 А/дм², толщине покрытия 6 мкм и рН: 1 – 1,0; 2 – 3,0; 3 – 5,0 от температуры

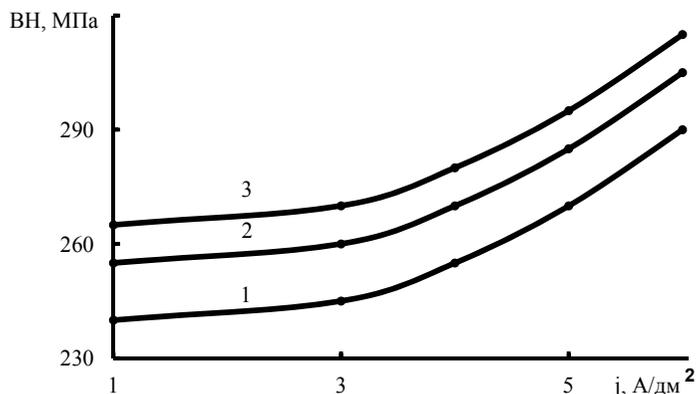


Рисунок 3 – Зависимость ВН КЭП никель-кобальт-оксид кремния, осажженных из электролита состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 250, борная кислота 35, сахарин 1,5, БД 0,5 мл/л, оксид кремния 5 при температуре 20 °С, толщине покрытия 6 мкм и рН: 1 – 1,0; 2 – 3,0; 3 – 5,0 от катодной плотности тока

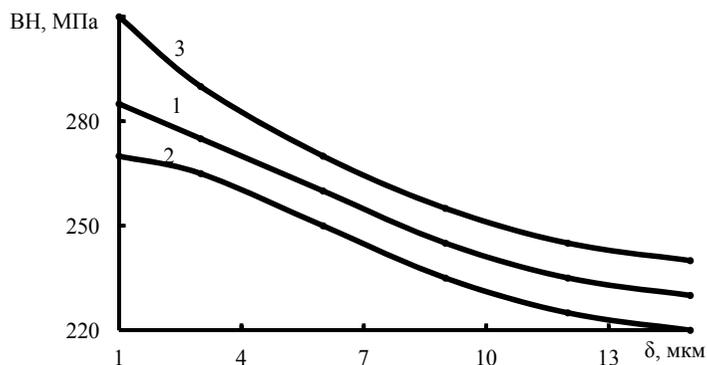


Рисунок 4 – Зависимость ВН от толщины КЭП никель-кобальт-оксид кремния, осажженных из электролита состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 250, борная кислота 35, сахарин 1,5, БД 0,5 мл/л, оксид кремния: 1 – 2; 2 – 5; 3 – 10 при температуре 20 °С, рН 1,0 и катодной плотности тока 5 А/дм²

КОРРОЗИОННО- И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-БОР

Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,

декан технологического факультета,

Целковская Мария Игоревна, студентка,

Балакай Илья Владимирович, магистр

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Исследованы коррозионно- и износостойкость композиционных электролитических покрытий никель-бор-фторопласт, в зависимости от состава электролита и режимов электролиза.

Наиболее перспективными для упрочнения узлов сухого трения являются покрытия типа металл-тугоплавкие частицы-самосмазываемые частицы. Поэтому самосмазываемые и износостойкие композиционные электролитические покрытия (КЭП), находят широкое применение на практике.

Известен электролитический сплав никель-бор, который предлагается использовать в машиностроении для увеличения срока службы и восстановления деталей машин и механизмов [1]. Эти сплавы отличаются повышенной твердостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью, что позволяет использовать их для упрочнения поверхности деталей.

На основании электролита для нанесения сплава никель-бор разработан электролит для нанесения КЭП никель-бор-фторопласт состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 200 – 300, сульфат никеля семиводный 2,5 – 5,0, борная кислота 25 – 35, сахарин 0,3 – 0,7, БД 0,2 – 0,8 мл/л, дикарбондидкарборат калия 1,5 – 4,0, СФ-4Д 0,1 – 0,8. Режимы электролиза: рН 1,5 – 5,5, температура 20 – 60 °С, катодная плотность тока 0,5 – 10 А/дм² при перемешивании механической мешалкой с частотой вращения 60 – 100 об/мин.

В табл. 1 приведены составы электролитов для электроосаждения композиционного покрытия никель-бор-фторопласт и сплава никель-бор [1], а значения физико-механических свойств покрытий, осажженных из данных электролитов, приведены в табл. 2. Наличие СФ-4Д в электролите позволяет электроосаждать КЭП с более высокой износостойкостью. Результаты измерений приведенных в табл. 1 и 2 получены с достоверной вероятностью 0,95.

Из табл. 2, видно, что износостойкость КЭП никель-бор-фторопласт превышает износостойкость сплава никель-бор в 1,6 – 2,2.

Зависимость износостойкости КЭП никель-бор-фторопласт при нагрузках свыше 3 Н приведены на рис. 1. Откуда видно, что при нагрузках 3 – 6 Н износостойкость практически не изменяется, а при увеличении от 6 до 7 Н – уменьшается.

Таблица 1 – Составы электролитов и режимы электролиза

Состав электролитов и режимы электролиза	Концентрация (г/л) компонентов в электролитах для нанесения	
	КЭП никель-бор-фторопласт	сплава никель-бор
Хлорид никеля шестиводный	200 – 250	200 – 250
Сульфат никеля семиводный	2,5 – 5,0	2,5 – 5,0
Борная кислота	30 – 40	25 – 35
Сахарин	0,5 – 2,0	0,5 – 1,5
1,4-бутиндиол, мл/л	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8
Дикарбоундекарборат калия	1,5 – 4,0	1,5 – 4,0
СФ-4Д	0,1 – 0,8	–
рН электролита	1,0 – 5,0	1,0 – 5,5
Температура, °С	18 – 40	18 – 40
Катодная плотность тока, А/дм ²	0,5 – 12	0,5 – 11
Перемешивание механической мешалкой, об/мин	80 – 120	–

Таблица 2 – Физико-механические свойства покрытий

Характеристики электролита и покрытий никель-бор и никель-бор-фторопласт	Показатели электролитов и покрытий	
	никель-бор-фторопласт	никель-бор
Износостойкость в условиях граничного трения со сталью Ст 45 при нагрузке 20 – 30 кгс/см ² , мкм/ч	0,52 – 0,84	1,18 – 1,31
Микротвердость, ГПа	6,6 – 7,3	7,8 – 8,7
Вн, МПа	280 – 345	255 – 320
Пористость при толщине 6 мкм, пор/см ²	0 – 2	1 – 3
Сцепление с основой из стали, меди и ее сплавов	Удовлетворяет ГОСТ 9.302-88	
Содержание бора, мас. %	0,7 – 2,5	1,0 – 2,8
Содержание фторопласта, мас. %	0,08 – 0,7	–
Вт, %	97 – 98	94 – 97
РС (по Херрину и Блюму), %	12 – 18	10 – 15
Стабильность электролита, %	100	100

На рис. 2 представлены результаты испытаний коррозионной стойкости покрытий никель-бор-фторопласт, никель-бор, осажденных из электролитов приведенных выше, и никель из хлоридного электролита [2]. Исследования проводились с помощью метода «Corrodscote», параллельно на трех одинаковых образцах покрытых при одинаковых условиях. Площадь прородированных участков, визуально видимых на поверхности образцов, относили к единице поверхности образца.

Очевидно, что КЭП никель-бор-фторопласт по коррозионной стойкости превосходят покрытия никель-бор и чисто никелевые покрытия.

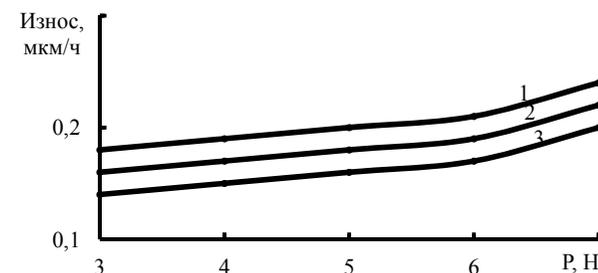


Рисунок 1 – Зависимость износостойкости КЭП никель-бор-фторопласт, осажденных из электролита состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 250, борная кислота 35, сахарин 1,0, БСД 3,0; СФ-4Д, мл/л: 1 – 0,3; 2 – 0,5; 3 – 0,7 при температуре 20 °С, катодной плотности тока 3 А/дм², толщине покрытия 20 мкм, рН 1,0 и перемешивании со скоростью 80 об/мин от на-

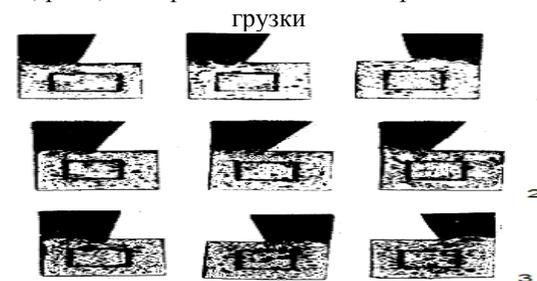


Рисунок 2 – Результаты коррозионных испытаний по методу «Corrodscote» следующих покрытий: 1 – никель-бор-фторопласт, 2 – никель-бор, 3 – никель.

Список литературы

1. Балакай В.И., Оберкович О.В. Электролитический сплав никель-бор // *Металлургия. Машиностроение. Станкоинструмент: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф.*, г. Ростов-на-Дону, сент. 2006 г. – Ростов н/Д: ВЦ «Вертолэкспо», 2006. – С. 43 – 46.
2. Балакай В.И., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В., Родина К.В. Оптимизация состава высококонцентрированного хлоридного электролита никелирования Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XIX-й Междунар. науч. конф. – Воронеж: ВГТА, 2006. – Т. 10. – С. 70 – 72.

СВОЙСТВА СЕРЕБРЯНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ ТИОСУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,

декан технологического факультета,

Целковская Мария Игоревна, студентка,

Раджабов Асатулло Махмадѣкубович, студент

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Разработан тиосульфатный электролит для нанесения серебряных покрытий. Исследованы физико-механические свойства покрытий в зависимости от состава электролита и режимов электролиза.

Серебро широко используется в промышленности в связи с его высокой электропроводностью. Недостатком серебра, как контактного материала, является его низкая микротвердость, износостойкость и коррозионная стойкость, что и определяет срок службы изделий. Значительное количество серебра расходуется на изготовление слаботочных скользящих контактов.

В настоящее время в промышленности применяется большое количество электролитов серебрения. Это вызвано, главным образом, поисками возможности замены традиционно используемых щелочных цианистых электролитов вследствие ужесточения требований по безопасности труда и охране внешней среды.

Используя метод математического планирования экстремальных экспериментов Бокса-Уилсона взамен цианистых разработан тиосульфатный электролит блестящего серебрения состава, г/л: хлорид серебра 30, тиосульфат натрия пятиводный 100 – 120, сульфит натрия 10 – 20, роданид аммония 10 – 30, блескообразующая добавка 0,1 – 0,2. Режим электролиза: температура 18 – 25 °С, pH электролита 3,0 – 7,0, катодная плотность тока 0,1 – 0,9 А/дм².

Важными характеристиками серебра как контактного материала являются микротвердость, износостойкость, удельное и переходное электрическое сопротивление, паяемость и способность покрытия к перепайке, коррозионная устойчивость в атмосфере различных промышленных газов, сцепление с основой из меди и её сплавов.

Исследование физико-химических и физико-механических свойств проводили на покрытиях, осажденных на изделия из меди и ее сплавов.

Покрытия, полученные из тиосульфатного электролита серебрения: паяемость, удовлетворяющую ГОСТ 20486-75; сцепление с основой из меди и её сплавов, удовлетворяющее ГОСТ 9.302-88. Способность покрытия к перепайке хорошая, так как при шестикратном нагреве образца до температуры плавления припоя и охлаждении до комнатной температуры никаких

изменений покрытия не наблюдается и покрытие не отслаивается от основы.

Устойчивость серебряных покрытий к потускнению в среде содержащих серу соединений не хуже стойкости серебряных покрытий, осажденных из дицианоаргентатного электролита состава, г/л: дицианоаргентат калия 72 – 94, роданид калия 200 – 250, поташ 20 – 30, при температуре 18 – 25 °С и катодной плотности тока 0,5 – 2,0 А/дм².

Коррозионная стойкость блестящих серебряных покрытий в 1,3 – 1,4 раза выше, чем у серебряных покрытий, осажденных из электролита, не содержащего блескообразующую добавку.

Значение удельного электрического сопротивления серебряных покрытий при толщине покрытия 20 мкм находится в пределах $(2,1 - 2,3) \cdot 10^{-8}$ Ом·м, что несколько выше величины этой характеристики для металлургического серебра – $1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м [1]. Это связано с различиями в структуре гальванически осажденного и полученного металлургическим путем серебра.

Микротвердость серебряных покрытий, полученных при различных плотностях тока, растет с увеличением катодной плотности тока, находится в пределах 930 – 1220 МПа и достигает максимальной величины при 0,9 А/дм² (рис. 1). Микротвердость серебряных покрытий, осажденных из тиосульфатного электролита без добавок, находится в пределах 810 – 880 МПа.

К достоинствам серебряного покрытия, наносимого из электролита блестящего серебрения, следует отнести повышенные значения микротвердости гальванических осадков, что в свою очередь приводит к увеличению износостойкости и снижению расхода серебра на электрических контактах, работающих на истирание.

Коррелирует с изменением микротвердости и изменение внутренних напряжений покрытий (рис. 1). Покрытиям из разработанного электролита свойственны напряжения растяжения.

Выход по току серебра при плотностях тока 0,1 – 0,9 А/дм² составляет 100 %. Покрытия практически беспористы при толщине слоя серебра примерно 6 мкм. Влияние блескообразующей добавки на степень блеска осадков серебра, полученных при различных плотностях тока, показано на рис. 2. При определении степени блеска в качестве эталона использовали серебряное зеркало.

Увеличение катодной плотности тока и концентрации блескообразующей добавки приводит к увеличению блеска.

В табл. 2 представлены результаты определения переходного электрического сопротивления серебряных покрытий при различных токах в цепи и нагрузках на точечный контакт до коррозионных испытаний с доверительной вероятностью 0,9. Переходное электрическое сопротивление снижается с увеличением нагрузки на точечный контакт и силы тока в цепи. Кор-

розионные испытания серебряных покрытий во влажной атмосфере показали его стабильность.

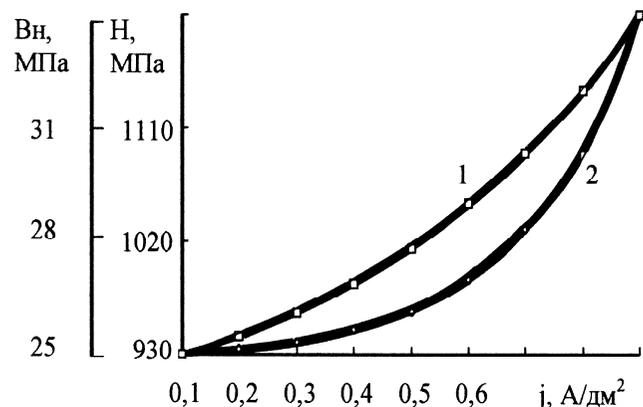


Рисунок 1 - Зависимость микротвердости (кривая 1) и внутренних напряжений (кривая 2) серебряных покрытий, при осаждении из тиосульфатного электролита, от плотности тока.

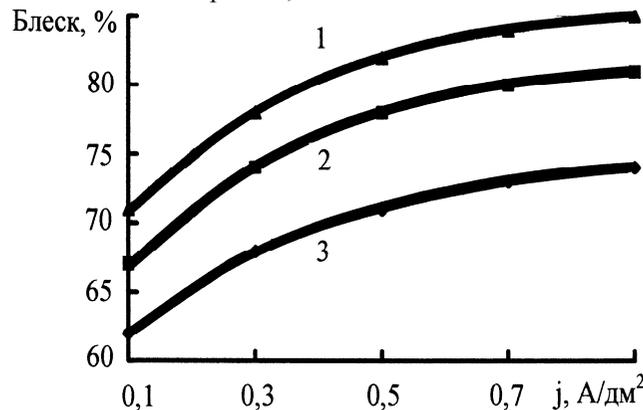


Рисунок 2 - Зависимость блеска серебряных покрытий, при осаждении из тиосульфатного электролита, от катодной плотности тока и концентрации блескообразующей добавки, г/л: 1 – 0,2; 2 – 0,1; 3 – 0,05.

Незначительное увеличение этого параметра после испытаний показывает перспективность использования разработанного электролита, поскольку блестящие покрытия обладают лучшей защитной способностью в отличие от матовых. Величина переходного электрического сопротивления удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электрическим контактам.

В табл. 2 приняты следующие обозначения: $(\bar{R}_n \pm \Delta R) \cdot 10^4$ – доверительный интервал для значения переходного сопротивления в данной группе опытов при выбранной вероятности, $p = 0,95$.

Результаты проведенных экспериментов позволяют рекомендовать тиосульфатный электролит блестящего серебрения взамен цианистых широко используемые в промышленности.

Данные электролиты являются нетоксичным и позволяют непосредственно наносить блестящие серебряные покрытия на изделия из меди и ее сплавов.

Таблица 2 – Переходное электрическое сопротивление серебряных покрытий при различных нагрузках на точечный контакт и различных токах в цепи

Нагрузка на контакт, Н	Ток, А	$(\bar{R}_n \pm \Delta R) \cdot 10^4$, Ом при $p = 0,95$	Нагрузка на контакт, Н	Ток, А	$(\bar{R}_n \pm \Delta R) \cdot 10^4$, Ом при $p = 0,95$	
0,05	0,020	19±8	1,00	0,020	13±2	
	0,050	18±6		0,050	12±0	
	0,100	18±4		0,100	11±2	
	0,250	17±2		0,250	10±2	
	0,500	16±2		0,500	9±2	
0,25	1,000	16±2	1,000	1,000	9±2	
	0,020	18±7		2,00	0,020	10±2
	0,050	17±5			0,050	9±2
	0,100	16±4			0,100	9±0
	0,250	16±2			0,250	8±2
0,500	15±2	0,500	8±2			
0,50	1,000	15±2	1,000	1,000	7±2	
	0,020	16±2		2,50	0,020	8±2
	0,050	15±2			0,050	8±2
	0,100	14±2			0,100	7±2
	0,250	13±2			0,250	7±0
0,500	13±0	0,500	6±2			
1,000	13±2	1,000	6±0			

Список литературы

1. Вячеславов П.М., Грилихес С.Я., Буркат Г.К., Круглова Е.Т. Гальвнотехника благородных и редких металлов. – Л.: Машиностроение, 1970. – 248 с.

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ
НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТ-ОКСИД КРЕМНИЯ**

Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,

декан технологического факультета,

Астахов Александр Сергеевич, магистр,

Раджабов Асатулло Махмадёкубович, студент

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова*

Разработан хлоридный электролит для нанесения износостойкого электролитического покрытия никель-кобальт-оксид кремния. Исследованы физико-механические свойства покрытия в рабочих диапазонах концентраций компонентов электролита и режимов электролиза.

Никель и сплавы его основе являются хорошими конструкционными материалами, и поэтому большое значение имеет разработка на их основе покрытий обладающих высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения, особенно при высоких нагрузках. В настоящее время износостойкие и самосмазываемые покрытия представляют определенный практический интерес и находят широкое применения во многих отраслях промышленности.

Известны электролиты для нанесения композиционных покрытий на основе никеля с целью получения покрытий с повышенной износостойкостью [1 – 8]. Покрытия, осажденные из данных электролита, имеют недостаточную износостойкость, особенно при повышенных нагрузках. С целью увеличения износостойкости, микротвердости и т.д. полученных осадков, в электролит для нанесения сплава никель-кобальт вводили оксид кремния.

На основании предварительных исследований разработан хлоридный электролит для нанесения композиционного электролитического покрытия (КЭП) состава, г/л: хлорид никеля 200 – 350, хлорид кобальта 3 – 12, оксид кремния 5 – 35, борная кислота 25 – 40, хлорамин Б 1,5 – 4,0. Режимы электролиза: рН 3,0 – 5,0, температура 18 – 60 °С, катодная плотность тока 1,0 – 10,0 А/дм², перемешивании магнитной мешалкой со скоростью 80 – 120 об/мин.

Выбор концентрации компонентов в электролите производили следующим образом:

– увеличение содержания никеля в электролите выше верхнего заявляемого предела нецелесообразно, что связано с предельной растворимостью хлорида никеля, уменьшением рассеивающей способности и стабильности электролита, ухудшением качества покрытий, увеличением расхода никеля за счет уноса электролита вместе с деталями;

– уменьшение содержания никеля в электролите ниже нижнего заявляемого предела приводит к уменьшению скорости процесса, снижению выхода по току и ухудшению качества осаждаемого покрытия;

– увеличение содержания кобальта в электролите выше верхнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, увеличению внутренних напряжений;

– уменьшение содержания кобальта в электролите ниже нижнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, снижению износостойкости покрытий;

– увеличение содержания оксида кремния в электролите выше верхнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, увеличению внутренних напряжений;

– уменьшение содержания оксида кремния в электролите ниже нижнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, снижению износостойкости покрытий;

– увеличение содержания борной кислоты в электролите выше верхнего заявляемого предела нецелесообразно. Это связано с пределом растворимости борной кислоты и ухудшением качества покрытий;

– уменьшение содержания борной кислоты ниже нижнего предела указанной концентрации приводит к уменьшению буферной емкости электролита, снижению выхода по току, интервалов работы электролита, ухудшению качества покрытий;

– увеличение содержания хлорамина Б выше верхнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, увеличению внутренних напряжений, снижению выхода по току и предельно допустимой катодной плотности тока;

– уменьшение содержания хлорамина Б ниже нижнего заявляемого предела приводит к ухудшению качества покрытий, увеличению внутренних напряжений.

Физико-механические свойства композиционного покрытия никель-кобальт-оксид кремния приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства покрытий

Характеристики электролита и композиционного покрытия никель-кобальт-оксид кремния	Показатели электролита и покрытий
Износостойкость в условиях граничного трения со сталью Ст 45 при нагрузке 3 – 5 МПа, мкм/ч	0,26 – 0,32
Микротвердость, ГПа	5,4 – 8,1
Внутренние напряжения, МПа	64,9 – 80,7
Сцепление с основной из стали, меди и ее сплавов	Удовлетворяет ГОСТ 9.302-84
Пористость при толщине покрытия 6 мкм, пор/см ²	1 – 4
Содержание кобальта, мас. %	0,7 – 8,1
Содержание оксида кремния, мас. %	0,8 – 4,3
Рассеивающая способность (по Херингу и Блюму), %	9 – 16
Стабильность, %	100

Электролит готовили следующим образом. В электролитической ванне, заполненной до $\frac{3}{4}$ необходимого объема водопроводной водой, при температуре 60 – 70 °С растворяли борной кислоты, хлорамина Б, хлорида никеля и хлорид кобальта, после того как довели уровень электролита до необходимого объема вводили оксида кремния. рН электролита доводили либо соляной кислотой, либо гидроокисью натрия или калия (100 – 150 г/л).

Как видно из табл. 1 износостойкость композиционного покрытия никель-кобальт-оксид алюминия, обладают высокой износостойкостью, что позволяет использовать их в качестве износостойких покрытий, увеличить срок службы и долговечность изделий работающих на истирание.

Список литературы

1. Сайфуллин Р.С. Композиционные покрытия и материалы. – М.: Химия, 1977. – 272 с.
2. Балакай В.И. Электролит для осаждения композиционного покрытия никель-бор-фторопласт / Пат. 2213812 Рос. Федерация, МПК 7 С 25 Д 15/00. – № 2002113832/02; заявл. 27.05.2002; опубл. 10.10.2003, Бюл. № 28. – 4 с.
3. Балакай В.И., Балакай И.В., Герасименко Ю.Я. Электролит для осаждения композиционного покрытия никель-фторопласт / Пат. 2297476 Рос. Федерация, МПК 7 С 25 Д 15/00. – № 2005130886/02(034622); – заявл. 05.10.2005; опубл. 20.04.2007; Бюл. № 11. – 3 с.
4. Балакай В.И., Мурзенко К.В., Бырылов И.Ф., Кузнецов Д.Н., Набиева Д.Б. Свойства композиционного покрытия никель-кобальт-алмаз, осажденного из хлоридного электролита // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83, вып. 9. – С. 1481 – 1488.
5. Балакай В.И., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Бырылов И.Ф. Композиционное электролитическое покрытие на основе никеля // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83, вып. 12. – С. 2008 – 2012.
6. Мурзенко К.В., Арзуманова А.В., Кукоз В.Ф., Бырылов И.Ф. Свойства электролитического композиционного покрытия никель-бор-фторопласт // Журнал прикладной химии. – 2011. – Т. 84, вып. 3. – С. 403 – 407.
7. Балакай В.И., Мурзенко К.В., Арзуманова А.В., Кукоз В.Ф., Бырылов И.Ф. Электролит для получения композиционных никелевых покрытий // Журнал прикладной химии. – 2011. – Т. 84, вып. 3. – С. 403 – 407.
8. Балакай В.И., Мурзенко К.В., Кудрявцев Ю.Д. Свойства композиционного электролитического покрытия никель-кобальт-оксид алюминия, осажденного из хлоридного электролита // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86, вып. 8. – С. 1261 – 1268.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПАЯЕМОГО СПЛАВА НИКЕЛЬ-ОЛОВО ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Балакай Владимир Ильич, д.т.н., профессор,

декан технологического факультета,

Астахов Александр Сергеевич, магистр,

Старунов Алексей Викторович, аспирант

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Разработан электролит для электролитического нанесения сплава никель-олово на электрические контакты. Исследованы физико-механические свойства покрытий в зависимости от состава электролита и режимов электролиза.

Золото, как материал для функциональных покрытий, широко применяется в радиоэлектронной технике, несмотря на свою высокую стоимость. Это объясняется уникальной коррозионной стойкостью, высокими значениями электро- и теплопроводности. По сравнению с другими благородными металлами золота, применяют главным образом там, где изделия должны работать в течение длительного времени, сохраняя надежность и работоспособность. Золотые покрытия считаются самыми надежными из всех покрытий благородными металлами, например, в контактных узлах, преимущественно слаботочных и малонагруженных. Одной из актуальных проблем функциональной гальванотехники является экономное использование и, по возможности, замена золота, в связи с его дефицитностью и высокой стоимостью.

Особое внимание в последнее время привлекает нанесение многослойных покрытий (барьерных слоев) на основу из меди и ее сплавов, позволяющих в ряде случаев снижать толщину верхнего слоя золота до долей микрона при сохранении функциональных свойств контакта. Кроме того, применение барьерных слоев обусловлено повышенными требованиями к прочности паяемых соединений по золоту и переходному сопротивлению такого соединения. В этих условиях становится возможной взаимная диффузия металла основы (чаще всего меди) и золота, в результате чего, вышедшие на поверхность менее благородные металлы, образуют продукты коррозии, повышающие переходное сопротивление контакта.

В соответствие с жесткими требованиями, предъявляемыми электронной промышленностью, считают, что применять в ответственных узлах и изделиях пайку и облуживание по золоту нельзя. Время смачивания припоем золотых покрытий резко возрастает в условиях, когда они эксплуатируются при повышенных температурах. Причина снижения прочности пайки – быстрое растворение золота в припое и образование хрупкого и растрескивающегося со временем интерметаллического соединения золота и олова. Сплавы золота с никелем, кобальтом, серебром дают более слабые паяные соединения, чем чистое золото, при одинаковой толщине.

Наблюдающиеся на практике отказы контактных устройств, связанные с образованием оксидных пленок, стимулировали разработку способа защиты с помощью наносимых под золото барьерных слоев. Целесообразным способом оценки эффективности барьерного слоя является контроль переходного сопротивления системы покрытий при слабых токах и нагрузках на контакт после ускоренных коррозионных испытаний.

Если на металл наносят золотые покрытия толщиной менее 0,5 мкм, то они не улучшают способность к пайке основного металла при хранении. Припой, растворив золото, на непаяемых металлах и сплавах не может выполнять свои функции, т.к., применяемый при пайке золота, неактивный флюс не может раскислить запассивированную поверхность основы.

Материал подслоя, служащий барьером для взаимной диффузии, не должен образовывать интерметаллиды ни с одним из двух материалов, которые он разделяет. Интерметаллиды обычно хрупки, поэтому их образование может привести к растрескиванию барьерного слоя или механическому нарушению контакта.

Покрытие сплавом олово-никель нашло широкое применение для защитно-декоративной отделки медных изделий, в качестве заключительного покрытия на печатных схемах вместо серебрения и палладирования, для покрытия паяемых электрических контактов, в качестве подслоя под золото.

Сравнивая различные барьерные слои, отметим возможные преимущества паяемых сплавов никель-олово перед остальными покрытиями. Во-первых, этот сплав при электроосаждении может образовать гексагональную решетку, затрудняющую взаимную диффузию меди и золота. Во-вторых, сплав может сочетать высокую коррозионную стойкость обоих металлов с хорошей паяемостью олова, сохраняющейся во времени.

При электроосаждении такого сплава из электролитов, содержащих тонкодисперсные соединения электроосаждаемого металла, могут образовываться аморфные, беспористые слои с дефектной структурой, а все это препятствует диффузии меди и золота через барьерный слой. Известны электролиты для нанесения сплава никель-олово. Однако они имеют следующие недостатки: требуют повышенных температур (50 – 70 °С), недостаточно производительны (плотность тока 0,5 – 1,3 А/дм²), многие из этих электролитов агрессивны, токсичны и недостаточно стабильны в работе.

Никель и олово в сплаве взаимодействуют друг с другом с образованием твердых растворов и интерметаллических соединений. Растворимость олова в никеле при температуре 1130 °С составляет около 10,4 %, однако при 500 °С снижается до 1 %, а при 20 °С олово в никеле не растворяется. Интерметаллиды никель-олово также нестабильны при комнатной температуре.

Для осаждения паяемых сплавов олово-никель был изучен хлоридно-цитратный электролит. На основании наибольшего значения коэффициента растекания припоя, который равен 6,4, для исследований выбран элек-

тролит состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 200, хлорид олова (IV) пятиводный 60, борная кислота 30, цитрат натрия 100, рН 0,7. Режимы электролиза: температура 18 – 30 °С, катодная плотность тока 0,5 – 1,0 А/дм².

Результаты зависимости коэффициента растекания припоя и состава сплава от температуры и катодной плотности тока приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что с повышением температуры электролиза коэффициент растекания припоя существенно снижается. Аналогичная зависимость наблюдается с уменьшением катодной плотности тока. Качество покрытия при увеличении температуры улучшается. По предварительным данным можно предположить, что паяемость сплава связана с образованием при электроосаждении фаз β -Ni₃Sn, δ -Ni₃Sn₄. Непаяемые сплавы содержат, кроме олова и никеля, неизвестную фазу, возможно γ -Ni₃Sn₂. Неизвестная фаза мелкодисперсна или еще не полностью сформировалась.

Исследована зависимость переходного электрического сопротивления для системы покрытий 3 мкм изучаемого сплава, 0,3 мкм золота в паре с такой же системой в зависимости от нагрузки до и после обработки при температуре 70 °С в течение 6 ч. При увеличении нагрузки от 15 до 100 г переходное сопротивление уменьшается от 46 до 19 мОм, а после термообработки от 60 до 30 мОм.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента растекания припоя и состава сплава от температуры и катодной плотности тока

Температура, °С	Катодная плотность тока, А/дм ²	Коэффициент растекания припоя	Содержание никеля в сплаве, %
25	1,00	6,4	27
	0,75	6,4	34
	0,50	0,9	17
35	1,00	5,2	28
	0,75	5,0	33
	0,50	0,9	21
50	1,00	2,5	30
	0,75	1,8	34
	0,50	1,0	23
55	1,00	1,0	52
	0,75	1,0	34
	0,50	0,9	24

МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «КИСЛЫХ» ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

*Бартеньева Екатерина Анатольевна**, аспирант
*Шога Татьяна Евгеньевна**, к.т.н., доцент
*Каминский Юрий Дмитриевич***, к.т.н., с.н.с.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Проведено исследование возможности получения вяжущего на основе «кислых» отвальных золошлаков с применением механохимической активации в энергонапряженных мельницах и создания мелкозернистого бетона на его основе.

Проведены исследования возможности получения вяжущих материалов на основе «кислых» отвальных золошлаков Кызыльской ТЭЦ с дальнейшим их использованием в производстве мелкозернистых бетонов. Предварительно был найден оптимальный состав вяжущей смеси, где количество золошлаковых отходов составляет 75,5%, известь-пушонка – 18,9% и гипс 5,6%. Для интенсификации процесса модификации полученную смесь подвергали механохимической активации. Механическую активацию проводили в центробежной мельнице проточного типа ЦМ-7. При анализе рентгеновских спектров видно, что в механоактивированной системе «кислая зола + известь-пушонка + гипс» образуются фазы типа: ранкинит $Ca_3Si_2O_7$, ларнит $\beta-Ca_2SiO_4$, псевдоволластонит $\alpha-CaSiO_3$ и $\gamma-Ca_2SiO_4$, которые и образуют в последующем минералы цементного камня (рис. 1).

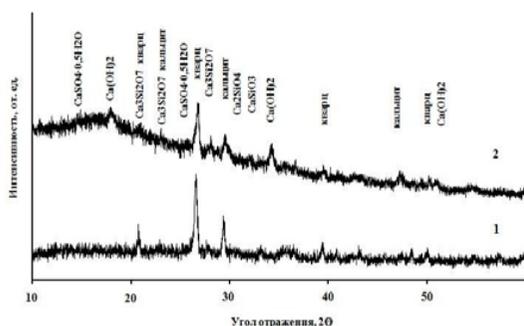


Рис. 1 – отвальная золошлаковая смесь Кызыльской ТЭЦ; 2 – механоактивированная вяжущая смесь

Полученную механоактивированную вяжущую смесь (МВВС) испытывали как самостоятельное вяжущее (табл. 1) и как материал, заменяющий цемент в количестве от 20 до 40 % (табл. 2). Из табл. 1 видно, что механоактивированная вяжущая смесь имеет нормальную плотность 44 %. Полученное вяжущее быстро схватывается и практически не имеет водоотделе-

ния, что связано с возникновением в результате механической активации на поверхности частиц различного рода нарушений и дефектов, изменяющих энергетическое состояние поверхности материала. Силы поверхностного натяжения материала увеличиваются, что приводит к росту количества адсорбционно связанной воды. Эти же силы влияют на удерживающую способность материала при водоотделении.

Таблица 1 -Физико-механические характеристики МВВС

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение
1	Истинная плотность	г/см ³	3,2
2	Нормальная густота	% мас.	44
3	Начало схватывания	мин.	25
4	Конец схватывания	мин.	100
5	Равномерность изменения объема	да/нет	да
6	Прочность на сжатие после 28 сут нормально-го твердения	МПа	10,5
7	Прочность на сжатие после 28 сут твердения в воде	МПа	8,3
8	Водоотделение	% об.	0

Таблица 2 - Зависимость свойств материалов от содержания компонентов вяжущего

№ п\п	Содержание компонентов, мас.%		Нормальная густота, %	Предел прочности при сжатии, МПа					
	Цемент	МВВС		Нормальные условия			В воде		
				7	14	28	7	14	28
1	100	-	25,5	70,4	74,6	93,6	74,1	71,9	71,9
2	80	20	27,1	57,4	61,5	63,9	54,5	57,3	59,1
3	70	30	29,2	53,6	55,7	60,2	39,8	43,7	62,6
4	60	40	31	33,9	34,4	49,3	32,8	42,0	49,4
5	50	50	33,6	31,9	38,2	44,1	21,6	24,6	29,5
6	40	60	36,5	19,1	26,6	30,2	12,2	16,4	22,8
7	30	70	39	13,4	20,1	20,2	11,7	14,6	18,2
8	20	80	42	13,4	15,7	18,3	8,2	9,8	14,0
9	-	100	44	5,6	6,8	10,5	4,3	4,5	8,3

Для оценки влияния механической активации на прочность механоактивированной вяжущей смеси дополнительно готовилась смесь из неактивированных компонентов. Эти компоненты отдельно измельчались на виброистирателе до прохождения через сито № 008. Затем измельченные компоненты тщательно перемешивались, и из полученной смеси готовилось

тесто нормальной густоты. Изменение прочностных показателей представлено на рис. 2.

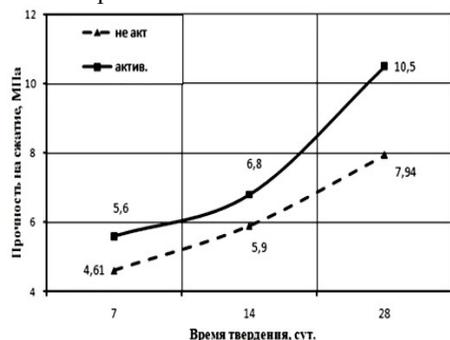


Рисунок 2 - Влияние механической активации на прочность вяжущего

Для оценки возможности использования МАВС в составе цемента ее вводили в количестве от 20 до 80 %. Из теста нормальной густоты каждого состава вяжущего готовились образцы-кубики размером 3x3x3 см, которые испытывались после 28 суток выдержки. В табл. 2 представлены результаты испытаний полученных составов.

Увеличение содержания МАВС в составе цемента приводит к росту нормальной густоты цементного теста. Исследование изменения водовяжущего отношения для двух типов смеси показало, что при добавлении в цемент механоактивированной смеси требуется меньше воды по сравнению с добавкой неактивированной смеси.

Уменьшение водопотребности для активированной золы связано с уменьшением количества «объемной» воды (рис. 3).

Механическая активация увеличивает реакционную способность частиц вяжущего, что ускоряет его схватывание. Влияние введения в состав цемента механоактивированной смеси на сроки схватывания представлено на рис. 4. За исходные данные приняты начало и конец схватывания цемента. Для сравнения делали замену цемента измельченной в виброистератиле смесью. Как видно из рисунка, введение в состав цемента механоактивированной смеси сокращает сроки схватывания. Введению механоактивированной смеси соответствует начало схватывания 30 мин., конец 150 мин.

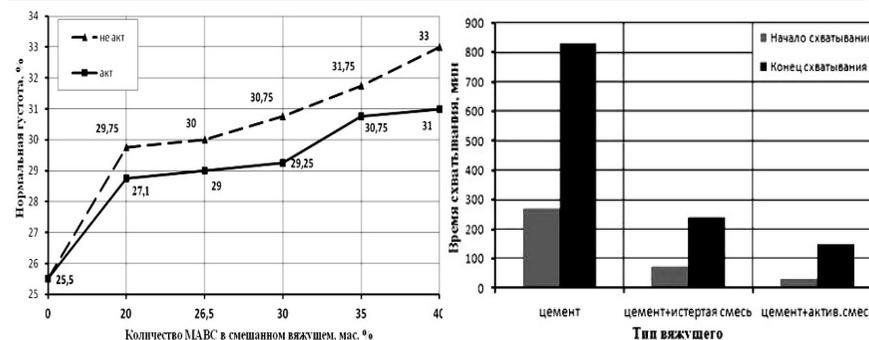


Рисунок 3 - Зависимость нормальной густоты от количества МАВС

Рисунок 4 - Влияние МАВС на сроки схватывания цемента

Для изучения свойств мелкозернистого бетона на основе смешанного вяжущего различного составов (содержание МАВС 20-40%) были приготовлены серии образцов-балочек размером 4x4x16 см и кубиков с размером граней 7 и 10 см. Соотношение вяжущего и песка принималось равным 1:3. Все образцы твердели в нормальных условиях. Испытание предела прочности на сжатие проводили через 7, 14, 28 и 90 сут. Исследования показали, что наибольший набор прочности для образцов содержащих МАВС, происходит за первые 7 суток и составляет от 50 до 80 % от показателей прочности 28 суточной выдержки. Дальнейший набор прочности протекает медленно. По-видимому, это связано с возникновением оболочки из гидратных новообразований, создающих экранирующее действие для дальнейшей гидратации. Исследование влияния количества МАВС в составе вяжущего на технические характеристики мелкозернистого бетона представлены в таблице 3.

Таблица 3 -Зависимость технических характеристик мелкозернистого бетона от содержания МАВС

Количество добавки, мас. %	Средняя плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Марка водонепроницаемости, W
0	2,13	7,4	2
20	2,19	6,41	6
26,5	2,21	6,6	10
30	2,17	6,32	12
35	2,14	5,5	14
40	2,12	6,67	12

Анализ данных таблицы показывает, что введение в состав цемента до 26,5 мас. % МАВС увеличивает плотность мелкозернистого бетона. Дальнейшее увеличение содержания в составе смешанного вяжущего МАВС

приводит к снижению средней плотности бетона до $2,12 \text{ г/см}^3$. Несоответствие между плотной упаковкой и величиной средней плотности можно объяснить наличием в составе смешанного вяжущего частиц золы, которые имеют замкнутую пористость. Сравнение полученных значений водонепроницаемости мелкозернистого бетона на цементе со значениями водонепроницаемости бетонов на малоклинкерном вяжущем показывает, что введение механоактивированной вяжущей смеси в состав цемента приводит к понижению проницаемости бетонов. Данный эффект связан с уменьшением количества пор в бетоне за счет введения тонкодисперсной вяжущей смеси. Результаты опытов по определению водопоглощения мелкозернистого бетона с добавками МАВС согласуются с показателями его водонепроницаемости.

Испытание морозостойкости мелкозернистых бетонов на смешанном вяжущем проводили по ускоренной методике, для чего образцы насыщались в 5 %-ном раствором NaCl. Как показали исследования прочность мелкозернистых бетонов на смешанных вяжущих после 100 циклов сохраняется. Дальнейшее увеличение количества циклов замораживания-оттаивания приводит к плавной потере прочности. У образцов, мелкозернистых бетонов, приготовленных на цементе, наблюдается прирост прочности до 100 циклов, а затем резкое снижение.

Таким образом, показано, что на основе малоклинкерного вяжущего с содержанием МАВС 20-40% можно получать мелкозернистые бетоны с плотностью менее $2,2 \text{ г/см}^3$, пределом прочности в возрасте 28 суток до 25 МПа, маркой по водонепроницаемости 12-14 и морозостойкостью более 100 циклов.

РОЛЬ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ КАРБИДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ НАПЛАВЛЕННОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

*Барчуков Дмитрий Анатольевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
«Технология металлов и материаловедение»
Дожделев Алексей Михайлович, ассистент
кафедры «Технология металлов и материаловедение»
Тверской государственной технической университет*

В статье описан механизм упрочнения быстрорежущих сталей на стадии их охлаждения при наплавке с целью формирования режущей части инструмента. Изложено влияние легирующих элементов, в частности, вольфрама и молибдена на процессы карбидообразования при реализации термического цикла наплавки, описанного в способе упрочнения наплавленной быстрорежущей стали.

Поиск и разработка оптимальных с точки зрения ресурсосбережения составов быстрорежущих сталей (сокращения расхода дорогостоящих легирующих элементов) инициируют исследования в области совершенствования структуры быстрорежущих сталей за счет внедрения в производство различных энергоэффективных ресурсосберегающих способов и технологий с целью повышения работоспособности быстрорежущих сталей.

Тенденция к ресурсосбережению в технологиях изготовления инструмента обусловлена высокой стоимостью отдельных легирующих элементов. Важной задачей является применение марок быстрорежущих сталей, свойства которых соответствуют требованиям, предъявляемым к инструменту, а стоимость по возможности более низкая.

При применении марок быстрорежущих сталей с ограниченным количеством дорогостоящих легирующих элементов важным представляется изучение возможности повышения концентрации легирующих элементов в твердом растворе в целях дальнейшего улучшения механических и эксплуатационных свойств быстрорежущей стали на этапах ее обработки, включая термическую обработку [1].

Известен способ упрочнения наплавленных быстрорежущих сталей [2], заключающийся в поверхностном пластическом деформировании (далее - ППД) закаляющегося с температур кристаллизации наплавленного металла во время его охлаждения после наплавки в температурном интервале от $(Mn+80)^\circ\text{C}$ до 60°C , где Mn – температура начала мартенситного превращения наплавленной быстрорежущей стали, и выполнении последующего однократного отпуска, который выполняют при температуре нагрева $520...540^\circ\text{C}$ и выдержке в течение 20...40 мин.

Техническим результатом изобретения является повышение твердости наплавленной быстрорежущей стали и эксплуатационной стойкости инструмента и дополнительного упрочнения мартенсита высокодисперсными карбидами. В результате ППД быстрорежущая сталь имеет двухфазную структуру – мартенсит и карбиды, и основной целью отпуска, выполняемого после ППД быстрорежущей стали, которая уже не содержит остаточного аустенита, является сохранение высоколегированного мартенсита, полученного в результате закалки с температур кристаллизации, и выделение мелкодисперсных равномерно распределенных в структуре стали вторичных карбидов.

Таким образом, качественное повышение эксплуатационных свойств быстрорежущей стали при отпуске помимо технологии закалки и полученной структуры закаленной стали определяется соответствующим составом стали, при котором становится возможным получение в структуре закаленной стали максимальной концентрации легирующих элементов в твердом растворе. При этом количественное соотношение между этими легирующими элементами должно обеспечивать образование при отпуске высокодисперсных карбидов, обладающих максимальной устойчивостью к коагуляции, т.е. сохранением высокой теплостойкости. При этом количе-

ство эвтектических карбидов должно быть сведено к минимуму, и они должны быть дисперсными и равномерно распределенными по объему стали.

Согласно теории легирования теплостойких инструментальных сталей, разработанной школой металлургов-инструментальщиков, организованной профессором Ю.А. Геллером [3], твердость и теплостойкость быстрорежущих сталей тем выше, чем больше количество упрочняющих частиц и выше их свойства, в частности, устойчивость против коагуляции, в процессе которой частицы укрупняются и, как следствие, уменьшается их количество, а также понижается твердость изготовленного из этих сталей инструмента, в том числе и при нагреве.

Упрочняющими фазами быстрорежущих сталей являются карбиды на основе вольфрама и молибдена (M_2C), ванадия (MC), железа и хрома ($M_{23}C_6$). Количество упрочняющих карбидов увеличивается по мере повышения растворимости углерода и легирующих элементов в аустените и, следовательно, в мартенсите теплостойких сталей в результате закалки. Наибольшая растворимость в аустените характерна для хрома, далее – по мере уменьшения – молибдена, вольфрама и ванадия.

Свойства карбидов зависят от их химического состава и определяются соотношением концентрации легирующих элементов и углерода в мартенсите, из которого они выделяются в процессе отпуска. Чем больше вольфрама, молибдена, ванадия и углерода растворено в мартенсите, тем выше свойства упрочненной стали.

Карбиды MC на основе ванадия сравнительно мало упрочняют теплостойкие стали, так как растворимость ванадия в аустените этих сталей весьма ограничена и не превышает 1...1,5 %.

Количество растворимых и нерастворимых карбидов в быстрорежущих сталях примерно одинаковое и, чем больше углерода и легирующих элементов будет в растворе, тем больше дисперсных карбидов выделится при отпуске и, следовательно, будет выше твердость и теплостойкость стали.

Образующиеся при отпуске дисперсные карбиды должны быть устойчивы к коагуляции. Чем выше устойчивость карбидов к коагуляции, тем выше твердость и теплостойкость. Наиболее устойчивым к коагуляции считается карбид M_2C . При образовании карбида $M_{23}C_6$ устойчивость к коагуляции карбидной фазы снижается.

При кристаллизации высокоуглеродистых молибденовых быстрорежущих сталей в их структуре формируется эвтектика на основе карбида M_2C с высокой концентрацией молибдена (около 30 %) и ванадия (около 20%) [4]. Считают, что карбиды M_2C имеют характерную для них вытянутую стержнеобразную форму и направленность и распадаются на более округлые и мелкие карбиды M_6C (2...5 мкм) и на многочисленные еще более мелкие карбиды MC (0,5...1 мкм).

Применение быстрорежущих сталей с низким содержанием вольфрама, например Р2М8, и замена вольфрама молибденом в соотношении 1:1,5 по-

зволяет уменьшить себестоимость быстрорежущей стали ввиду высокой стоимости вольфрама при сохранении достаточной теплостойкости. Также, снижение содержания вольфрама обеспечивает возможность снижения карбидной неоднородности.

Список литературы

1. Барчуков, Д.А. Повышение работоспособности быстрорежущих сталей термомеханическими воздействиями: монография / Д.А. Барчуков, А.Ю. Лаврентьев. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2014. 100 с.
2. Пат. 2483120 Российская Федерация, МПК С21D. Способ упрочнения наплавленных быстрорежущих сталей / Барчуков Д.А., Зубков Н.С., Лаврентьев А.Ю., Водопьянова В.П. Оpubл. 27.05.2013, Бюл. №15. 6с.
3. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
4. Кремнев, Л.С. Теория легирования и создание на ее основе теплостойких инструментальных сталей и сплавов оптимального состава // Металловедение и термическая обработка металлов. 2008. №11. С.18-28.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОШЛИФОВ МЕДНЫХ ПЛАСТИН КОЛЛЕКТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

*Белан Дмитрий Юрьевич, к.т.н., доцент, доцент
Дьяченко Александр Иванович, старший преподаватель
Прокопенко Надежда Сергеевна, студент
Гелетюк Юлия Николаевна, студент
Хасеинова Сания Барлыбаевна, студент
Омский государственный университет путей сообщения*

В данной статье рассматривается вопрос правильности приготовления микрошлифов для последующего анализа структуры поверхностного слоя медных пластин коллектора тягового электродвигателя и улучшения свойств деталей подвижного состава.

Проблема повышения физико-механических и эксплуатационных свойств деталей машин подвижного состава, инструментов, приборов методами поверхностного легирования и упрочнения приобретает все большую актуальность. В настоящее время науке и технике известно более 100 методов поверхностного упрочнения и легирования, каждый из которых имеет свои оптимальные области применения. Все известные на сегодняшний день методы упрочнения поверхностей можно разбить на пять основных групп в зависимости от технологического приема изменения поверхностных или объемных свойств материала: 1 – образование тонких пленок на поверхности; 2 – высокоэнергетические методы, связанные с изменением химического состава и структуры поверхностного слоя; 3 – механическое воздействие на поверхность; 4 – объемное и поверхностное

изменение структуры и свойств термообработкой; 5 – комбинированные методы [1]. Решение многих проблем развития современного производства было найдено на пути создания, разработки и совершенствования электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. Данные методы основаны на использовании различных физико-химических процессов энергетического воздействия на заготовку для формообразования детали при обработке.

Прогрессивным подходом в настоящее время считается исследование, разработка и совершенствование технологий получения поверхностных слоев с заданными составом, структурой и, соответственно, требуемыми свойствами. При этом необходимо учитывать, что решающее значение при формировании структуры слоя имеют энергетическая способность взаимодействия насыщающего элемента, физико-химическая природа насыщающей среды и механизм фазовых превращений [1, 2].

Предпосылкой для всех металлографических исследований является изготовление шлифов, которые используют для микроскопического исследования с помощью светового и электронного микроскопов, для определения микротвердости, а также количественного измерения структурных составляющих и электронно-зондового микроанализа.

От правильности приготовления шлифов зависит правильность толкования микроструктур. Приготовление состоит из пяти этапов:

Вырезка образцов.

Для вырезки образцов используют отрезные станки с абразивными кругами. Для резки, обеспечивающей достоверность исследования образца необходимо отсутствие прижогов и значительного деформационного повреждения поверхности. Для этого во всех случаях резку абразивными кругами проводят с использованием охлаждающей жидкости.

2. Монтирование образцов.

Образцы после вырезки помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Для запрессовки образцов используют порошки из фенольных и эпоксидных смол или термопластичных акриловых смол. Также используется холодная заделка образцов с помощью эпоксидных, полиэфирных и акриловых смол, в случаях если действие нагрева и давления при запрессовке может привести к нежелательным изменениям структуры или вызвать деформацию образцов.

3. Шлифование. После закрепления, образец подвергается шлифованию, важной задачей которого является достижение минимальной толщины слоя деформированного металла, чтобы последние его следы можно было удалить последующим полированием. После каждой ступени шлифования поверхность образца следует тщательно очищать во избежание переноса сравнительно крупных частиц абразива на более мелкозернистый абразивный материал, используемый при последующих ступенях шлифования. Необходимо, чтобы на каждой ступени шлифования происходило полное

удаление слоя деформированного металла, образовавшегося на предыдущей ступени, никаких следов царапин от предыдущего шлифования наблюдаться не должно. С такими целями, используют мокрое шлифование на водостойких шлифовальных шкурках, обеспечивающее эффективное охлаждение и постоянную очистку шкурки и образца. Также, чтобы свести к минимуму вдавливание абразивных частиц в поверхность шлифов, шкурку предварительно смачивают в керосине или натирают парафином. В связи с тем, что науглероженный поверхностный слой образца отличается от основного металла по структуре и составу целесообразно применять метод косого шлифа, что позволит более точно определить глубину внедрения углерода в образец.

Для изготовления косого шлифа нужно изменить поверхность полировки так, чтобы она составляла с поверхностью угол в $5 - 7^\circ$. В результате при пересечении плоскости полировки с поверхностью образца наблюдается расширение его сечения.

4. Полирование образца.

В качестве финишной операции при приготовлении шлифов служит полирование. При полировании происходит удаление мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа (Рис. 1). Полирование производят на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом, на который непрерывно или периодически наносят очень мелкий абразив в виде суспензии в воде. В качестве абразивов применяют оксид хрома, оксид алюминия и оксид железа. Все более широкое использование находят полировальные алмазные пасты, которые наносят на специальную ткань.



Рисунок 1 - Науглероженные и полированные образцы медных пластин коллектора тягового электродвигателя

5. Травление.

Реактив взаимодействует с полированной поверхностью шлифа. Поверхность шлифа растворяется или окрашивается тонким слоем продуктов травления. Под действием реактивов в металлах и сплавах, прежде всего, растворяются выделения на границах зерен, имеющие иную химическую

природу. Структура становится видимой, при этом отражательная способность шлифа испытывает изменения, которые внутри каждой фазы одинаковы независимо от условно ориентированного воздействия реактива. Возникает рельеф, который состоит из выступающих фаз. Благодаря этому становятся видны контуры структурных составляющих [3, 4]. При применении косоугольного освещения контуры четко различимы благодаря свету и тени (Рис. 2).

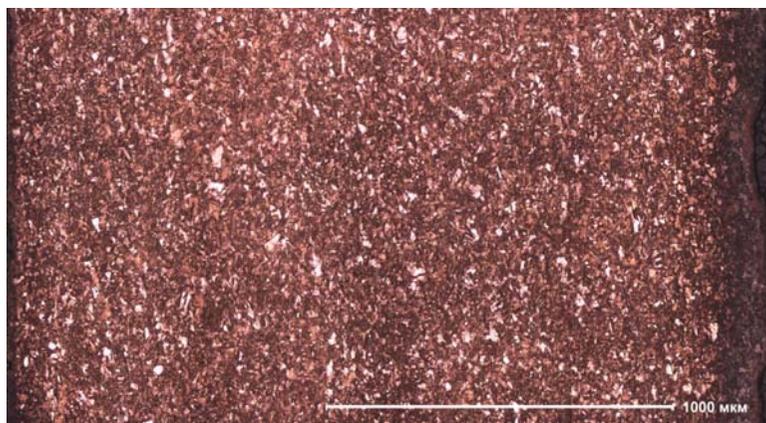


Рисунок 2. Науглероженный образец медной пластины марки М0

Нами был проведен эксперимент по науглероживанию медных образцов марки М0 на установке для электроискровой обработки с позиционированием электродов относительно поверхности коллектора электрической машины. В таблице 1 представлены режимы обработки науглероженных пластин.

Таблица 1 - Режимы обработки науглероженных пластин

№ прожига	Искра	Режимы		
			Время прожига, сек	Глубина прожига, мм
1	1,5 А	М0 – образец	30	2
2	1,7 А	Плоский электрод	30	1
3	2 А	Плоский электрод	30	1
4	2 А	Плоский электрод	30	1,5
5	1,8 А	Точечный электрод	30	1,5

Таким образом, для повышения надежности работы тягового подвижного состава необходимо совершенствовать технологию получения и упроч-

нения поверхностных слоев с заданными составом, структурой и соответственно получения требуемых свойств.

Список литературы

1. Белан Д. Ю. Повышение надежности работы коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей / Д. Ю. Белан, В. М. Лузин // Известия Трансиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010. № 4(4). С. 6 – 11.
2. Гадалов В. Н. Локальное избирательное нанесение электрофизических покрытий на металлообрабатывающий инструмент / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, И.М. Горякин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. № 4. С. 20–24.
3. Баранова Л. В. Металлографическое травление металлов и сплавов / Л.В. Баранова, Э. Л. Демина // Справочное издание. — М.: Металлургия, 1986. 256 с.
4. Беккерт М. Способы металлографического травления / М. Беккерт, Х. Клемм // Справочное издание. – 2-е изд., перераб. и доп. — Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1988. 400 с.: ил.

КОМПОЗИТНАЯ БИОРАЗЛАГАЕМАЯ НАСАДКА НА РЕСПИРАТОР

Белоус Денис Сергеевич, студент

Мельников Игорь Николаевич, к.х.н., с.н.с., преподаватель

ППК СГТУ имени Гагарина Ю.А.,

Пичхидзе Сергей Яковлевич, д.т.н., профессор

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Статья посвящена созданию биоразлагаемой композитной насадки с помощью 3 D принтера для расширения возможностей респиратора РПП – 67 по защите от монооксида углерода (угарного газа).

Устойчивая тенденция роста числа природных и техногенных катастроф, сопровождающихся разрушением, возгоранием промышленных, жилых объектов и приводящих к выбросу монооксида углерода СО, существенно обостряет проблему создания новых высокоэффективных средств индивидуальной защиты органов дыхания человека, СИЗОД.

Цель работы: исследование возможности создания композитных насадок с использованием 3 D принтера для простейших СИЗОД.

Среди простейших технических СИЗОД наибольшее распространение получили респираторы, в частности РПП-67. Однако данный респиратор со сменными сорбционными патронами не способен эффективно защищать от вредного воздействия ряда веществ и, в частности, от СО. Нами предлагается использовать простейшее техническое устройство (насадку) для расширения защитных свойств респиратора[1-3].

Создание насадки может осуществляться методом штамповки с использованием прессов, позволяющих деформировать материалы с помощью механического воздействия. Однако данный метод применим для массо-

вых изготовлений изделий в промышленных объемах. Для опытных образцов насадок нами предлагается использовать 3 D печать с использованием композитных материалов. Самым популярным расходным материалом является ABS пластик. Особая структура этого вида «расходника» позволяет выдерживать сильное механическое воздействие. Такой пластик относится к ударопрочной группе и если сравнить ABS с обыкновенным полистиролом, то он в значительной степени превосходит другие аналоги в плане механической прочности и жёсткости. Среди других достоинств можно отметить тот факт, что данный вид пластика выдерживает температурную нагрузку в 100 С°. Этот расходный материал также можно использовать для нанесения гальванического покрытия, в сфере вакуумной металлзации и даже для спайки контактов. Он отлично подходит для сварки или точного литья. Материал обладает высокой размерной стабильностью. Распечатанные объекты имеют блестящую поверхность (уровень блеска можно регулировать).

Среди огромного списка достоинств можно отметить стойкость к щелочам, кислотам, углеводородам, жирам. Однако он прекрасно растворяется в ацетоне, эфире, бензоле, этилхлориде, этиленхлориде, анилине и анизоле. Основной недостаток – чувствительность к воздействию ультрафиолетовых лучей и атмосферных осадков. Данный материал характеризуется низким уровнем электроизоляции.

Другой вид композитного материала это PLA пластик или полилактид является самым экологически чистым и подходящим расходным материалом для трёхмерной печати. Данный вид пластика представляет собой термопластичный полиэфир, который создаётся из биологических отходов (сахарная свекла или силос кукурузы). Его мономером является молочная кислота. Распечатанные объекты имеют отличный уровень скольжения и из такого пластика даже можно производить подшипники скольжения.

Чаще всего такой материал используется для изготовления детских игрушек потому, что PLA пластик обладает наименьшим уровнем токсичности. Единственным недостатком полилактида является недолговечность и постепенное разложение. Материал отлично подходит для большой и маленькой печати. Стоит заметить, что для повышения прочности изделия, полилактид можно смешать с ABS пластиком.

Еще один вид материала для 3 D принтера это нейлон. Нейлон похож на популярный расходный материал – ABS пластик, однако обладает лучшей сопротивляемостью высокой температуре печати и способен впитывать влагу. Недостатком нейлона является более высокий срок застывания и необходимость откачки воздуха из экструдера.

Наш выбор остановился на полилактиде (PLA-пластик). Это натуральное природное сырье в составе PLA-пластика позволяет без угрозы для здоровья человека применять его для различных целей. Полилактид применяется для производства экологически чистой биоразлагаемой упаковки, одноразовой посуды, средств личной гигиены. Биоразлагаемые пакеты из

полилактида используются в крупных торговых сетях. Ввиду своей биосовместимости, полилактид широко применяется в медицине, для производства хирургических нитей и штифтов, а также в системах доставки лекарств [4-6].

Насадка изготавливалась на 3D принтере Ultimaker² из полилактида. Насадка надежно крепится на сорбционном патроне за счет крепежного механизма (защелок), рис.1...3. Внутри пластмассовой насадки помещаются диски нетканого волокна на основе ПАН-ПВДФ, пропитанного нейтрализаторами (окислителями) CO. Дополнительно свободный объем насадки может заполняться цеолитом, Al₂O₃, гидроксидом алюминия Al(OH)₃ + бемитом AlO(OH), а также хлористым палладием и оксидом меди [6,7]. Эффективность окисления CO нейтрализующими компонентами насадки оценивали с помощью детектора, рис.4. Получены результаты, свидетельствующие о высокой эффективности защитных свойств разработанной насадки от CO.

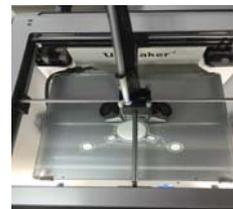
Рис.1 3D принтер Ultimaker²

Рис.2 Насадка для патрона РПГ-67



Рис.3 Насадка и патрон в сборе



Рис.4 Газовый детектор CO

Выводы: Разработана биоразлагаемая композитная насадка для простейших средств индивидуальной защиты органов дыхания и технология ее получения, обеспечивающая качественно новый уровень защиты человека при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, сопровождающихся выбросами в атмосферу CO.

Список литературы

1. Мельников И.Н., Захарченко М.Ю., Пичхидзе С.Я. Новые средства защиты органов дыхания человека от паров ртути. В сборнике: Научная дискуссия: вопросы юрис-

пруденции Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2016. - С. 106-108.

2. Мельников И.Н., Осипова Е.О., Пичхидзе С.Я. Фильтрующе-сорбирующий материал по детоксикации угарного газа. Воронеж: ВГУ. 2015. - 4с.

3. Осипова Е.О., Мельников И.Н., Пичхидзе С.Я. Разработка фильтрующего сорбирующего материала по детоксикации угарного газа. Балаково: БИТИ, 2015. - 3с.

4. Методы исследования в криминалистическом материаловедении / М.Ю. Захарченко, И.Н. Мельников, Д.В. Кайргалиев // Под ред. С.Я. Пичхидзе. Саратов, 2015. 195 с.

5. Бодягина К.С., Кайргалиев Д.В., Мельников И.Н., Пичхидзе С.Я. К вопросу о детоксикации паров ртути //Прогрессивные технологии и процессы: сб. науч. ст. 2-й Междунар. молодежной НПК: в 3-х томах. Курск, 2015. С. 151-154.

6. Осипова Е.О., Мельников И.Н., Пичхидзе С.Я. Насадка на РПП-67 для защиты от СО. Самара: LJournal, 2016. - 3с.

7. Хаврошина Ю.О., Белоус Д.С. Разработка огнестойких составов для пропитки огнезащитных костюмов пожарных и спасателей // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <http://www.school-science.ru/2017/19/26192> (дата обращения: 12.12.2016).

ПОГРЕШНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Бердиев Б.Х., преподаватель

Ташкентский железнодорожно транспортный колледж, Узбекистан

В данной статье рассматриваются факторы вызывающие образования погрешности при механической обработке

Механическая обработка может рассматриваться как последовательная смена форм, размеров и взаимного положения поверхностей заготовки, которая завершается некоторым их приближением к макрогеометрии детали, предусмотренной рабочим чертежом. Правильно назначенные допуски убывают в следующей последовательности: на размеры между обрабатываемыми поверхностями, на их взаимное положение, точность формы, шероховатостей, т. е. величина допуска по чистоте поверхности должна быть наименьшей, а по размеру — наибольшей. В процессе обработки детали возникают новые погрешности формы, происходит наложение макроотклонений, волнистости и шероховатости поверхности, т. е. они суммируются с учетом знака относительно заданной геометрии.

Эти погрешности образуются вследствие отклонений от идеальных взаимных перемещений в системе СПИД (Станок, приспособление, инструмент, деталь) и искажений элементов системы под воздействием усилий резания.

Кинематические погрешности не зависят от усилий резания и режима обработки, они остаются постоянными по величине в течение длительного периода эксплуатации станка. Динамические погрешности формы изделия зависят от выбранных режимов обработки, они переменны по величине.

Искажение формы деталей при обработке резанием возникает и вследствие температурной деформации СПИД. Эти влияния на макрогеометрию детали рассмотрены ниже. Слагаемые продольной и поперечной погрешностей формы суммируют по правилу квадратного корня с учетом их: частичной компенсации.

Усилия резания при любом направлении в пространстве можно разложить по осям пространственной системы координат на составляющие P_x , P_y и P_z . Ось y имеет направление, нормально к обрабатываемой поверхности в области касания инструмента к изделия, а оси x и z совпадают соответственно с направлениями подачи и резания. Вследствие упругости системы СПИД усилия, резания перемещают ее элементы друг относительно друга, вызывают погрешности формы и размеров обрабатываемого изделия. Приведем несколько примеров. Контактные деформации (отжатия) при обработке в центрах на токарных станках жестких деталей неодинаковы по длине, это придает деталям в продольном сечении седлообразную форму; прогиб; детали придает ей бочкообразную форму. Форма: детали в продольном сечении при обработке в патроне или цанге описывается кривой второго порядка. При торцовок обработке детали на планшайбе или в патроне с одинаковыми усилиями отжатия в различных точках обрабатываемой поверхности зависят от плеч, к которым эти усилия приложены. Форма, такой поверхности также описывается кривой второго порядка при обработке как от центра к периферии, так и наоборот; в последнем случае неплоскостность будет меньше. Ось отверстия, выполненного на вертикальном сверлильном станке, окажется отклоненной от перпендикулярности к опорной поверхности изделия вследствие углового отжатия стола станка.

В зависимости от размещения на столе шепинга и направления подачи отжатия, возникающие при строгании, приводят к тому, что поверхность детали приобретает одну из трех форм. В результате обработки детали на горизонтально-фрезерном станке фрезой, ширина которой шире детали, поверхность окажется наклоненной под некоторым углом к базовой поверхности. Если ширина фрезы значительно меньше ширины детали, обработанная поверхность опишется кривой. Отжатия суппорта и ползуна приводят к искажению поверхности, обработанной на долбежном станке. Поверхность детали после расточки на револьверном станке криволинейна вследствие отжатия инструмента.

На величину и характер погрешности формы изделия, возникающей при механической обработке, влияют процессы, протекающие с разной скоростью. Долями секунды измеряются периодичность вибрации узлов СПИД, изменения сил трения, колебания рабочей нагрузки вследствие неравномерного припуска, образования нароста на резце и др. Износ режущего инструмента (необратимый процесс), колебание температуры среды и собственно СПИД (обратимый процесс) протекают в периоды, измеряемые часами, долями часов. Месяцы и годы длится процесс износа рабочих по-

верхностей станка и приспособления, перераспределения напряжений в элементах системы, их коробления. Некоторые из перечисленных факторов действуют закономерно, другие являются случайными функциями. Вследствие этого погрешности формы различны при обработке даже одинаковых деталей на одном и том же станке.

Поверхностный слой заготовок при механической обработке подвергается механическому разрушению; происходит отделение стружки от обрабатываемого тела; пластически деформируется поверхность изделия и стружки; тепло по-разному распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемой заготовкой. Кроме того, при обработке резанием в поверхностных слоях деталей происходят изменения, влияющие на пределы прочности, текучести и пропорциональности; вязкость, твердость и объемный вес, электрические и магнитные характеристики. Степень этих изменений и глубина, на которую они проникают в заготовку, зависят от физических и химических свойств обрабатываемых материалов, метода обработки, выбранных режимов, наличия и состава смазывающе-охлаждающей жидкости.

Ограничимся кратким рассмотрением формирования макрогеометрии деталей машин при некоторых видах механической обработки. Для подробного ознакомления с рассматриваемым вопросом следует обратиться к трудам. Величина возникающих в процессе механической обработки отклонений формы, размера и взаимного положения поверхностей — функция многих переменных: характера обработки; класса точности обработки; вида производства и соответствующей ему оснастки; размера и веса заготовки; формы заготовки; вида заготовки; способа изготовления заготовки; материала заготовки и других.

Основными факторами, влияющими на точность обработанной детали, являются вид обработки, точность и жесткость СПИД — станка, приспособления, заготовки и инструмента; в некоторых случаях превалирует один из этих факторов. В зависимости от типа станка и погрешностей, допущенных при его изготовлении, возникают погрешности геометрической формы и размеров обрабатываемой на нем детали. По мере износа поверхностей трения станка погрешности обрабатываемых деталей возрастают. Величина поля рассеивания погрешностей формы составляет значительную часть суммарной погрешности обработки.

Список литературы

1. Проников А.С. Надежность машин. М.Машиностроение, 1978. 592

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*Бишутин Сергей Геннадьевич, д.т.н., профессор,
директор учебно-научного института транспорта
Петракова Наталья Юрьевна, магистрант
Коробов Виктор Сергеевич, магистрант
Брянский государственный технический университет*

Проанализированы пути формирования износостойких поверхностей трения деталей автомобилей при финишной абразивной обработке. Рассмотрена стратегия технологического обеспечения и повышения износостойкости поверхностных слоев деталей на операциях финишного шлифования.

Многочисленные исследования показали, что до 50 % выходов из строя узлов и агрегатов автомобилей при их эксплуатации происходит из-за износа деталей пар трения. Значительное влияние на износ деталей оказывает состояние их поверхностных слоев, формируемых преимущественно при шлифовании. [1; 2]. Поэтому повышение износостойкости деталей пар трения на финишных этапах их изготовления является актуальной задачей.

Анализ научной литературы позволил выделить следующие направления повышения износостойкости поверхностей при их финишной абразивной обработке:

- формирование при финишной обработке требуемого микрорельефа на поверхности трения [3; 4];
- упрочнение поверхностных слоев деталей за счет тепла, выделяющегося в контакте шлифовального круга и заготовки [5];
- интеграция операций поверхностной закалки ТВЧ и шлифования на одном технологическом оборудовании [6];
- научно обоснованный выбор режимов традиционной финишной абразивной обработки, обеспечивающих формирование износостойких приповерхностных микро- и наноструктур [2; 7; 8];
- создание нетрадиционными методами абразивной обработки структурированных поверхностных слоев, существенно отличающихся по структуре и составу от основного материала [9; 10].

Первое направление заключается в создании при обработке на поверхности трения сетки микронеровностей вследствие разных направлений рисок от вершин абразивных зерен. Повышение износостойкости достигается, как правило, в период приработки за счет образования масляных карманов. На интенсивность изнашивания в период нормального износа данные технологии практически не оказывают влияния.

Второе направление реализуется путем выбора режимов и условий шлифования, обеспечивающих значительное тепловыделение в зоне обработки. Вследствие этого в поверхностных слоях образуются твердые структуры закалки. Качество поверхности при такой технологии неста-

бильно. Зачастую наблюдаются сильные вибрации вследствие применения форсированных режимов шлифования, что приводит к повышению волнистости и макроотклонения поверхности. Очевидно, что такая технология неприменима к поверхностям трения ответственных деталей машин.

Комбинированное шлифование с дополнительным термическим воздействием от токов высокой частоты (третье направление) увеличивает износостойкость поверхности (до 2 раз) за счет повышения микротвердости поверхностного слоя. Однако такие технологии требуют существенных капитальных затрат на производство и применимы далеко не для всех деталей машин с поверхностями трения.

Четвертое направление предполагает повышение износостойкости в несколько раз за счет научно обоснованного выбора режимов финишной абразивной обработки, что возможно в условиях серийного производства при использовании современного станочного оборудования. Реализация такого подхода к повышению износостойкости не требует значительных капитальных затрат на производство.

Значительного повышения износостойкости (до 3...4 раз) можно достичь путем формирования при финишной абразивной обработке поверхностных слоев, существенно отличающихся по структуре и составу от основного материала (пятое направление) [8; 9]. Такие поверхностные слои можно получить при введении в зону обработки частиц антифрикционных материалов. Принципиально возможны два варианта нанесения антифрикционного материала на поверхность в ходе шлифования: нанесение частиц антифрикционного материала натирающего элемента сначала на абразивные зерна шлифовального круга, а затем растирание этих частиц по обрабатываемой поверхности при выхаживании; нанесение частиц антифрикционного материала непосредственно на обрабатываемую поверхность и их растирание по ней абразивными зернами при выхаживании шлифовальным кругом.

Как видим, мероприятия в рамках четвертого и пятого направлений будут являться наиболее эффективными путями технологического обеспечения и повышения износостойкости поверхностей деталей машин, подвергаемых абразивной обработке. С учетом этого была предложена стратегия технологического обеспечения и повышения износостойкости поверхностных слоев деталей на операциях финишного шлифования (рисунок).

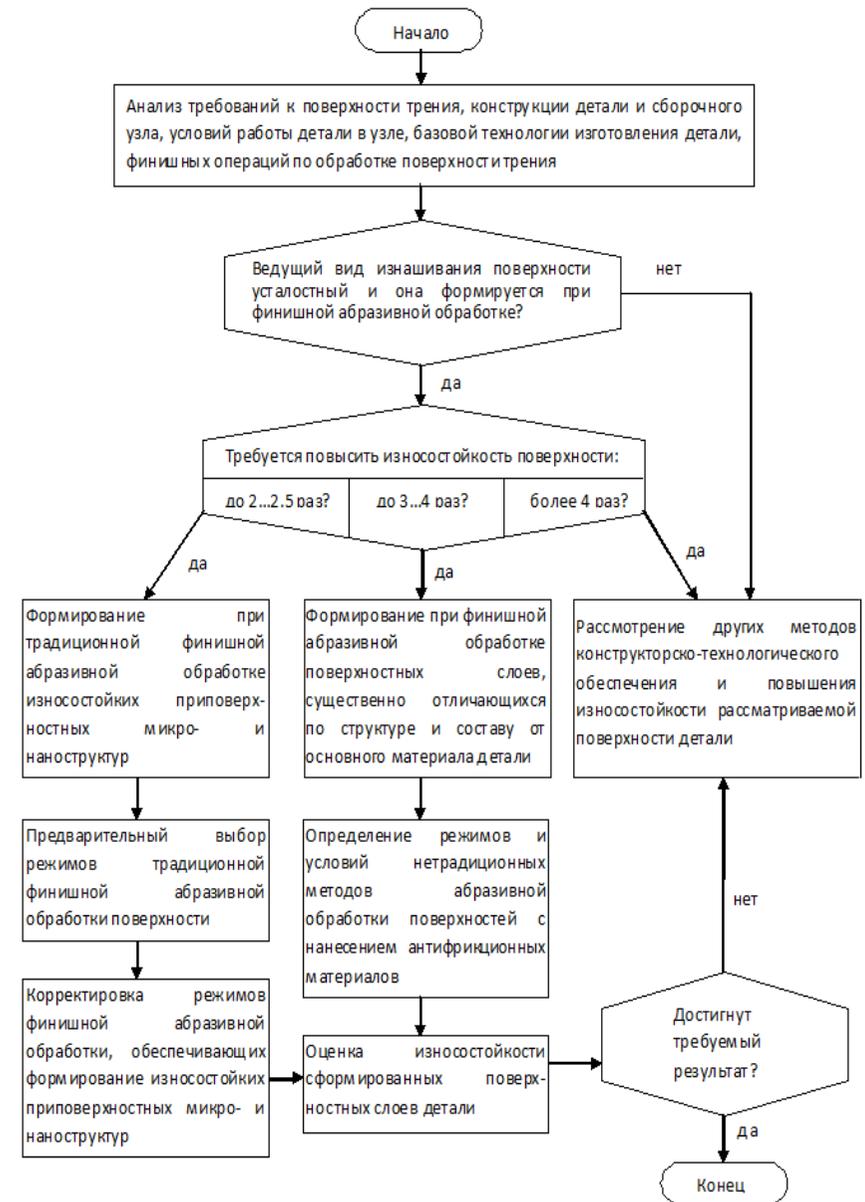


Рисунок – Блок-схема стратегии повышения износостойкости поверхностей деталей на операциях шлифования

В первую очередь следует провести анализ требований к поверхности трения, конструкции детали и сборочного узла, условий работы детали в узле, базовой технологии изготовления детали, финишных операций по обработке поверхности трения. Если ведущий вид изнашивания поверхности усталостный, и она формируется при финишной абразивной обработке, то можно перейти к выбору варианта технологического обеспечения и повышения износостойкости поверхностных слоев деталей на операциях финишной абразивной обработки.

Если требуется повысить износостойкость поверхности до 2...2,5 раз, то целесообразно назначить режимы традиционной финишной абразивной обработки для формирования износостойких приповерхностных микро- и наноструктур (первый вариант).

Для повышения износостойкости до 3...4 раз целесообразно формирование при финишной абразивной обработке поверхностных слоев, существенно отличающихся по структуре и составу от основного материала детали (второй вариант).

В случае, когда требуется повышение износостойкости более 4 раз, то следует рассмотреть другие методы конструкторско-технологического обеспечения и повышения износостойкости рассматриваемой поверхности детали, поскольку предлагаемые методы не позволяют достичь такого эффекта.

Первый вариант реализуется в три этапа:

- предварительный выбор режимов традиционной финишной абразивной обработки поверхности;
- корректировка режимов финишной абразивной обработки, обеспечивающих формирование износостойких поверхностных слоев;
- оценка износостойкости сформированных поверхностных слоев.

Второй вариант технологического обеспечения и повышения износостойкости поверхностных слоев деталей реализуется в два этапа:

- определение режимов и условий нетрадиционных методов абразивной обработки поверхностей с нанесением антифрикционных материалов;
- оценка износостойкости сформированных поверхностных слоев детали.

Реализация второго варианта потребует проведения экспериментальных исследований, т.к. предлагаемые методы формирования поверхностных слоев, существенно отличающихся по структуре и составу от основного материала детали, являются новыми и малоизученными.

В случае невозможности технологического обеспечения требуемой износостойкости поверхностного слоя, следует рассмотреть другие конструкторско-технологические методы повышения износостойкости.

Данная стратегия позволит существенно повысить износостойкость деталей машин и эффективность технологических операций их финишной абразивной обработки.

Список литературы

1. Бишутин, С.Г. Технологическое обеспечение требуемых значений совокупности параметров качества поверхностного слоя деталей при шлифовании с наибольшей производительностью: Дис. ... д-ра техн. наук/ С.Г. Бишутин. – Брянск: БГТУ, 2005. – 327с.
2. Бишутин, С.Г. Повышение износостойкости поверхностей деталей машин при финишной абразивной обработке /С.Г. Бишутин// Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – №2(38). – С.11-15.
3. Козлов, А.М. Разработка инструмента с некруговой рабочей поверхностью для повышения эксплуатационных характеристик прокатных валков при их шлифовании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук/А.М. Козлов. – М.: МГТУ «Станкин», 2005. – 42с.
4. Колтунов, И.И. Повышение эффективности процесса шлифования внутренних криволинейных поверхностей колец самоустанавливающихся подшипников: автореф. дис. ... д-ра техн. наук/И.И. Колтунов. – Орел: ОрелГТУ, 2007. – 44с.
5. Аксенов, В.А. Теория и технология комбинированной (шлифование с управляемым термическим воздействием) обработки деталей машин с повышенными эксплуатационными характеристиками: автореф. дис. ... д-ра техн. наук/ В.А. Аксенов. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 34 с.
6. Иванцовский, В.В. Технологические аспекты интеграции операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук/ В.В. Иванцовский. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 35 с.
7. Бишутин, С.Г. Качество и износостойкость шлифованных поверхностей деталей автомобилей/ С.Г. Бишутин. – Брянск: Десяточка, 2011. – 100 с.
8. Бишутин, С.Г. Математическое моделирование формирования микронеровностей поверхности при шлифовании с учетом изнашивания инструмента/С.Г. Бишутин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2005. – №1. – С. 78-82.
9. Бишутин, С.Г. Способ и устройство формирования износостойких поверхностных слоев деталей машин при шлифовании /С.Г. Бишутин// Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сб. науч. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Курск: ЮЗГУ, 2016. – С.21-24.
10. Бишутин, С.Г. Современные способы шлифования в машиностроении/С.Г. Бишутин// Научные технологии в машиностроении. – 2011. – №2. – С.28-34.

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Бондаренко Антон Игоревич, магистрант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

В статье рассматриваются особенности сварки стали 12Х18Н10Т в средах углекислого газа, аргона, выполненной автоматом и РДС. Приводятся результаты исследования микроструктуры сварных швов.

Ключевые слова: 12Х18Н10Т, аустенитная сталь, микроструктура, сварное соединение, сварка в защитных средах

Сталь относится к высоколегированным хорошо свариваемым аустенитным сталям [1]. Изделия из стали 12Х18Н10Т характеризуются длительным сроком службы, высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких агрессивных сред. Области применения – пищевая, нефтяная, химическая промышленность, топливно-энергетический сектор, машиностроение.

Представляет интерес изучение влияния условий режимов сварки на качество шва. Известно, что основной причиной хрупкого разрушения кон-

струкций в процессе их эксплуатации, являются карбиды хрома, которые выпадают по границам зерен аустенита в зоне термического влияния [2,3]. Стойкость стали повышается путем исключения или ослабления эффекта выпадения карбидов и стабилизации свойств в месте сварного шва [3].

Особенности проведения сварки аустенитной стали

При сварке стали 12X18H10T рекомендуется использовать электроды с защитно-легирующим покрытием основного вида в сочетании с высоколегированным электродным стержнем, что обеспечивает формирование наплавленного металла необходимого химического состава и других свойств [3-6]. Содержащийся в электродных стержнях титан при сварке практически полностью окисляется. По этой причине при сварке покрытыми электродами в качестве элемента-стабилизатора используют ниобий. Коэффициент перехода ниобия из стержня при сварке покрытыми электродами составляет 60...65%.

Рекомендуется сварку аустенитными электродами производить короткой дугой с целью улучшения защиты плавильного пространства и для уменьшения разбрызгивания, т.к. в брызгах, прилипших к поверхности стали или шва, могут образоваться горячие трещины. Не удаленные, прилипшие к поверхности металла брызги могут служить очагами коррозионного разрушения [5-7].

В качестве защитных газов при дуговой сварке используют аргон, реже – гелий, углекислый газ. Аргонодуговая сварка выполняется плавящимися и неплавящимися вольфрамовыми электродами на постоянном токе прямой или обратной полярности. При сварке плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности, используются режимы, обеспечивающие струйный перенос электродного металла. Для повышения стабильности горения дуги и уменьшения водородной пористости используют смеси аргона с кислородом или углекислым газом (до 10%).

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом проводится, в основном, на постоянном токе прямой полярности.

Обеспечивается относительно высокий коэффициент перехода легкоокисляющихся элементов. Так, коэффициент перехода титана из проволоки достигает 50%. При сварке в атмосфере аргона коэффициент перехода титана из проволоки составляет 80...90%. При сварке в углекислом газе сталей, имеющих высокое содержание хрома и низкое содержание кремния, на поверхности шва образуется тугоплавкая трудноудаляемая оксидная плёнка. Её присутствие затрудняет проведение многослойной сварки.

При сварке сталей с малым содержанием углерода (ниже 0,07...0,08%) возможно науглероживание наплавленного металла. Переход углерода в сварочную ванну усиливается при наличии в электродной проволоке алюминия, титана, кремния. В случае сварки аустенитных сталей некоторое науглероживание металла сварочной ванны в сочетании с окислением кремния снижает вероятность образования горячих трещин. Однако науг-

лероживание может изменить свойства металла шва и, в частности, снизить коррозионные свойства. Кроме того наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла. Наличие брызг на поверхности металла снижает коррозионную стойкость [5-7].

Для уменьшения степени окисления металла и получения качественного сварного шва процесс сварки в среде защитных газов рекомендуется проводить с максимально возможной скоростью при минимальной поверхности сварочной ванны.

Перемещение электрода и присадочной проволоки в процессе сварки должно быть равномерно-поступательным. При ручной сварке допускаются возвратно-поступательные перемещения присадочной проволоки без вывода ее из зоны защитного газа. Поперечные колебания не рекомендуются. Сварку следует вести без перерывов. В случае вынужденного перерыва перекрывать ранее наложенный шов на 10...20 мм. После обрыва дуги по окончании сварки подачу защитного газа прекратить после некоторого остывания металла и электрода (через 5...10 с) для предупреждения недопустимого окисления.

Материалы, методы, результаты исследования

Проводилось исследование сварных соединений из стали 12X18H10T, выполненных ручной дуговой сваркой (РДС) на постоянном токе обратной полярности при сварочном токе 70 А электродами ЦЛ-11 [8] с основным покрытием. Основа электродов – стальной стержень из высоколегированной сварочной проволоки Св-08Х19Н10Б. Перед проведением сварочных работ электроды прокаливали 1,5 ч при температуре 190...210°C.

Механизированная сварка в аргоне и в углекислом газе проводилась сварочным полуавтоматом «Kemppi Kempromat 3200». Использовался выпрямитель сварочный «ВД-305 УЗ», для РДС – сварочный выпрямитель «ВД-305 УЗ»; сварочный ток 180 А, проволока Св-06Х19Н9Т [9].

Подготовка образцов к металлографическим исследованиям проводилась на оборудовании НИЛ «Исследование технологических остаточных напряжений и деформаций» [10]. Разрезание образцов проводилось мокрым абразивным способом на станке Discotom-10: отрезной диск выбирался исходя из твердости и вязкости материала. Образцы заливались эпоксидной смолой. После затвердевания проводилось механическое шлифование и полирование на станке Tegramin-25. Абразивные материалы выбирались в соответствии с рекомендациями фирмы Shtruers [11]. Шлифование проводилось в две стадии: выравнивание поверхности и тонкое шлифование. При полировании выполнялось тонкое алмазное полирование и оксидное полирование с подтравливанием поверхности. После финишной обработки образцов проводили травление поверхности в 10% водном растворе смеси кислот HF+HNO₃. После травления микрошлиф промывали водой. После финишной обработки стали для выявления микроструктуры проводили травление поверхности образцов. Микроструктура сплава изу-

чалась на световом микроскопе «МЕТ-3» при увеличениях от 50 до 1000 раз.

На рис. 1-3 показана микроструктура сварных швов стали 12X18H10T, выполненных различными способами.

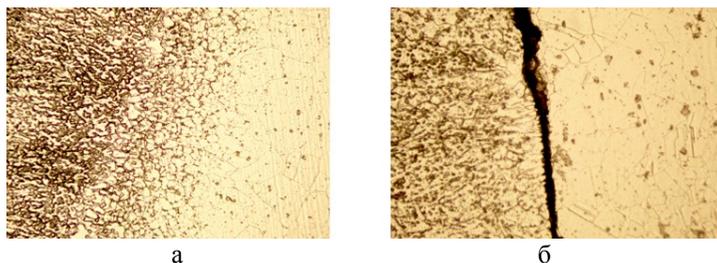


Рисунок 1 – Микроструктура сварного шва стали 12X18H10T, сварка в CO_2 : а – наплавленный металл и зона термического влияния, x200; б – непровар, x500



Рисунок 2 – Микроструктура сварного шва стали 12X18H10T, РДС, линия сплавления: а – x200; б – x500

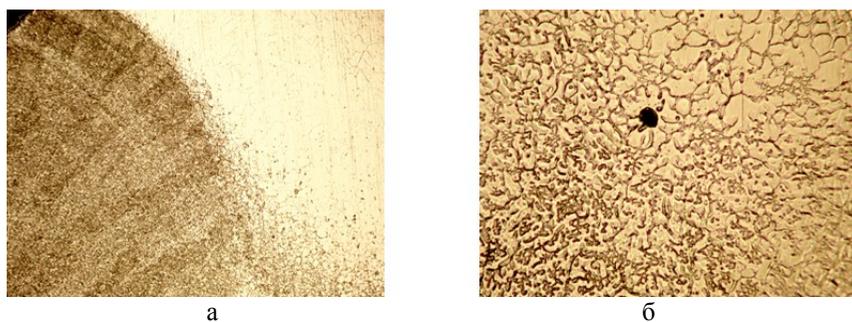


Рисунок 3 – Микроструктура сварного шва стали 12X18H10T, сварка в аргоне: а – наплавленный металл и зона термического влияния, x50; б – пора в наплавленном металле, x500

Исследования сварного шва и околошовной зоны сварных соединений показали, что металл шва и переходной зоны заметно отличаются по структуре в зависимости от способа сварки. Наиболее однородная структура образуется при сварке в аргоне. После РДС в структуре шва ярко выражено «слоистое» строение, присутствует большее количество пор. В образцах, выполненных в среде углекислого газа, чаще всего обнаруживаются непровары. Микроструктура наплавленного металла состоит из дендритов γ -твердого раствора. Кристаллы растут в направлении, перпендикулярном поверхности теплоотвода, представляющей собой криволинейную поверхность раздела расплавленного и твердого металлов.

После сварки в металле шва обнаруживается ферромагнитная составляющая. Это обстоятельство позволяет успешно проводить исследования структуры сварного шва магнитными методами [12]. Количество ферромагнитной фазы достаточно велико, что делает приемлемыми методы, ранее применяемые для ферромагнитных сталей [13-16].

Заключение

В результате проведенных исследований были освоены методики подготовки микрошлифов и проведения микроанализа на световом микроскопе. Полученные результаты согласуются с известными литературными данными и позволяют сделать вывод, что для более полного изучения строения сварного шва кроме традиционных методов следует дополнительно использовать другие физические методы исследования, например, рентгеновский.

Список литературы

1. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаропрочные и жаропрочные. Марки.
2. Николаева Е.П., Маслов М.В., Бурдуковский Е.А., Козлов В.А. Металлографическое исследование сварных соединений из стали 12X18H10T, выполненных различными видами сварки // В сборнике: Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации) материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. С. 133-140.
3. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. – М.: Металлургия, 1967. – 799 с.
4. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. / Т.2. Под ред. А.И. Акулова – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
5. ОСТ 26.260.3-2001 Сварка в химическом машиностроении.
6. Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1966. – 429 с.
7. Шоршоров М.Х., Ерохин А.А., Чернышова Т.А. и др. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
8. ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия.
9. ГОСТ 2246-70 Проволока стальная сварочная. Технические условия.
10. <http://www.istu.edu/structure/54/3218/> (дата обращения 20.11.2016)

11. <http://www.struers.com/Library#> (дата обращения 20.11.2016)
12. ГОСТ Р 53686-2009 Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей.
13. Карамышев А.А., Николаев А.Ю. Анализ модификации клапана высокого давления с помощью Rollscan 300. Молодежный вестник ИРГТУ. 2016. № 3. С. 8.
14. Николаева Е.П. Исследование структуры конструкционной стали Ст3пс после обработки аргонодуговой плазмой // В сборнике: Пром-Инжиниринг труды II международной научно-технической конференции. ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». 2016. С. 191-195.
15. Николаева Е.П., Гридасова Е.В., Герасимов В.В. Применение рентгеноструктурного анализа и шумов Баркгаузена для исследования конструкционной стали 30ХГСА после дробеударной обработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2-1. С. 125-132.
16. Николаева Е.П., Николаев А.Ю. Применение магнитных методов для контроля качества изделий из инструментальных сталей // Материалы докладов II Всероссийской с международным участием научно-технической конференции. Иркутск. 2012. С. 338-344.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Бояринцева Екатерина Сергеевна, студент
Юго-Западный государственный университет, Россия*

В данной статье идет речь о проблемах метрологического обеспечения производственной деятельности. В сфере обеспечения единства измерений (ОЕИ), являющееся фундаментом метрологического обеспечения, рассматриваются четыре подхода к регулированию отношений.

Благодаря падению российской промышленности в 80-90-е годы прошлого века, проблемы метрологического обеспечения (МО) производственной деятельности не раз обсуждались, и в настоящее время для многих предприятий они актуальны. Тем не менее, современный этап развития из-за нового закона «Об обеспечении единства измерений», нуждается в пересмотрении старых и новых проблем МО на предприятиях. Это нужно для того, чтобы интересы разных субъектов метрологической деятельности не столкнулись.

Выделяют несколько типов подхода к регулированию отношений в сфере обеспечения единства измерений (ОЕИ), представляющих собой фундамент МО.

МО – деятельность, включающая в себя измерения, осуществляемые в процессе разработки, производственного контроля и испытаний изделий, и работы по обеспечению прослеживаемости, или достоверности результатов, этих измерений.[1]

Первый подход, регрессивный, стремится вернуться в той или иной форме к преимущественному (в крайнем проявлении – тотальному) централизованному государственному регулированию.

Второй, называемый противоположным, стремится освободить (в крайнем проявлении – полностью) производственную деятельность от государственного регулирования.

Третий и четвертый подходы – это сочетания первых двух. Вот их различия. Третий подход, юридический, предполагает, что государство устанавливает обязательные правила, включающие обязательные метрологические процедуры, после чего с помощью правовых инструментов реагирует на последствия их выполнения или невыполнения. При этом сами правила выполняются добросовестными субъектами экономической деятельности, включая мониторинг ситуации силами саморегулируемых организаций.

Четвертый подход, надзорный, исходит из необходимости, силами государства и уполномоченных им органов, следить за выполнением обязательных правил.

Позиция многих специалистов представляет собой комплекс, содержащий элементы различных подходов. Так, например, некоторые из главных метрологов промышленных предприятий, которые, казалось бы, должны поддерживать умеренно либеральный подход, в действительности ратуют за реализацию регрессивного подхода [1]. Это обусловлено не их личными взглядами, но надеждой на то, что государство сможет заставить руководителей их предприятий кардинально изменить негативное или равнодушное отношение вообще к метрологической деятельности и конкретно – к метрологической службе предприятия. Аналогично этому, позиции сторонников того или иного подхода обусловлены не столько их личными взглядами, сколько их должностными интересами и обязанностями. В частности, сотрудники метрологических институтов [2], личный либерализм которых доходит до сомнения в полезности такого федерального органа как Ростехрегулирование, в силу своего должностного положения в системе организаций, подчиненных Ростехрегулированию, публично занимают позицию поддержки и усиления его функций.

Таким образом, налицо новая, сложная ситуация, которая является внешней по отношению к промышленному предприятию и в которой, тем не менее, предприятие должно действовать повседневно, решая текущие и перспективные задачи МО. Остановимся на соотношении понятия МО.

В настоящее время единство измерений определяется [3] как «состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности не выходят за установленные границы». Иными словами, понятия ОЕИ и МО совпадают по содержанию, что делает одно из них (скорее всего – МО) излишним. Однако практика свидетельствует, что специалисты промышленных предприятий традиционно включают в понятие МО, кроме ОЕИ (в новой трактовке), также проведение производственных (техноло-

гических, рабочих) измерений и, зачастую, испытаний продукции (по крайней мере – измерений, проводимых в процессе испытаний). Таким образом, в настоящее время соотношение рассматриваемых понятий, оставаясь формально тем же самым, базируется на другом их содержании, из которого будем исходить в дальнейшем рассмотрении.

Очевидно, что единство измерений представляет собой системообразующий фактор для систем измерений [2]. В зависимости от указанных систем, выделяются системные уровни обеспечения единства измерений.

Для производственного предприятия в общем случае имеет смысл говорить о трех уровнях: национальном, отраслевом и внутреннем. Несмотря на развитую структуру и различный характер работ (конструирование, разработка технологии, производство), представляется нецелесообразным «расщеплять» локальный системный уровень предприятия, поскольку это может обернуться на практике либо потерей локального единства, либо необходимостью тратить дополнительные ресурсы для его обеспечения.

В настоящее время отраслевой уровень может отсутствовать или заменяться уровнем объединения предприятий, не обязательно отраслевого в строгом смысле, например, уровнем корпорации.

Объектами ОЕИ на предприятии являются все измерения, осуществляемые в процессах конструирования (включая исследовательские и конструкторские испытания), разработки технологии, производства (включая технологический контроль) и приемочных испытаний (всех видов).

Указанная констатация не столь очевидна, как может показаться, поскольку на практике существует тенденция избежать «вмешательства метрологов в работу тех или иных подразделений и специалистов предприятия. Имеются многочисленные примеры потери ресурсов, к которой приводит эта тенденция, которая чаще всего реализуется под лозунгом их экономии.

Субъектами ОЕИ на предприятии, в силу указанного выше расширительного толкования понятия, являются не только и не столько профессиональные метрологи – сотрудники метрологической службы («метрологи по должности» [3]), сколько разработчики и производственники, включая сотрудников инфраструктурных подразделений, в первую очередь, технологов («метрологи по необходимости» [3]). Наименования этих двух групп специалистов отражают различие позиций по отношению к процессу ОЕИ и различные их роли в этом процессе. При общности цели – достоверности данных о продукции и процессе ее производства – специалисты указанных групп выступают оппонентами в отношении методов и средств ее достижения.

Исполнителями функций МО на предприятии практически всех основных работников, за исключением обслуживающего персонала, не связанного непосредственно с производственной деятельностью. Что касается самих функций, то в общем виде они сводятся к следующим:

Метрологическая экспертиза (МЭ), в т.ч.

- МЭ изделий,
- МЭ технических документов; управление измерениями, в том числе
- Управление методиками выполнения измерений,
- Управление средствами измерений, контроля и испытаний;
- Осуществление метрологических, арбитражных и особо точных рабочих измерений.

Каждая из общих функций естественным образом распадается на ряд частных функций, выполнение которых должно быть обеспечено специальными механизмами.

МЭ выполняется различным образом в отношении готовых изделий и их составных частей, конструкторских и технологических документов, тех нестандартизованных МВИ, которые в соответствии с ГОСТ Р 8.563 [1], не подлежат аттестации.

Управление МВИ, в свою очередь, предусматривает их создание, аттестацию и МЭ.

Управление средствами измерений, контроля и испытаний структурируется по двум факторам: видам технических устройств и этапам их жизненного цикла. Следовательно, с одной стороны, нужно говорить об управлении СИ, средствами контроля (СКн) и средствами испытаний (СИсп). С другой стороны, управление любым из этих видов устройств включает в себя:

- Оснащение (определение потребности, приобретение, создание);
- Учет, хранение и выдачу;
- Калибровку (СИ, СКн), поверку (СИ) и аттестацию (СИсп);
- Техническое обслуживание и ремонт;
- Контроль состояния и применения, включая регистрацию данных о состоянии;
- Списание и утилизацию.

К располагающему ресурсами, которых достаточно для создания полноценной МС, предприятию, полностью относятся рассмотренные цели, функции, задачи, проблемы МО, охватывающие полномасштабную метрологическую деятельность. Сейчас многие предприятия не относятся к этой группе. Видимо, процент крупных предприятий в промышленности скоро сократится. В последнее время часто рассматривается вопрос о внедрении метрологической работы на средних и малых предприятиях. Такая задача будет более сложной, чем рассмотренная выше, но, по приведенным соображениям, она актуальна и требует решения.

Список литературы

1. Бегунов А.А. Метрология в пищевой и перерабатывающей промышленности: - М.: Типография Россельхозакадемии, 2005. – 320 с.
2. Федеральный закон от 02.07.2008 г. № 102-ФЗ. – Российская газета, Федеральный выпуск №4697 от 2 июля 2008 г.
3. Николаева М.А., Карташова Л.В. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия [Текст] : учебник / М.А. Николаева, Л.В. Карташова. – М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2010. – 336с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИШЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Быков А.В., Корневская С.Н., Хрипина И.И.

Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия

Одной из проблем связанных с ведением ишемических больных является частое сочетание сосудистых поражений различных органов включая головной мозг, сердце и нижние конечности.

Основой взаимодействия ишемизированных органов являются процессы ишемического прекондиционирования или кратковременной гипоксии тканей, которые характеризуют защитную реакцию органов (сердце (С), головной мозг (ГМ), нижние конечности (НК)) в ответ на повторное ишемическое воздействие.

При этом современные подходы к анализу состояния ишемизированных больных основываются на представлении о краткосрочных воздействиях различного вида: нейрогенные, фармакологические, физические и т.д.

В тоже время наши наблюдения показывают, что патологические состояния сердца и сосудов, включая сосуды головного мозга и нижних конечностей сосуществуют длительно, приобретая хроническую взаимоотношающую связь.

Такое течение хронических ишемических процессов требует разработки адекватных методов прогнозирования степени тяжести ишемического процесса, использование которых позволит повысить качество оказания медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

В предлагаемой работе рассматривается вариант компьютерной реализации метода прогнозирования ишемических процессов органов человека основная идея которого описана в работе [1].

В качестве информативных признаков для прогнозирования таких классов состояний как норма (класс ω_n), латентное состояние (класс ω_l), реверсивное состояние (класс ω_p) и критичное состояние (ω_k) на экспертном уровне были отобраны следующие показатели: x_1 – степень саморегуляции центральной гемодинамической системы; x_2 – время сегригирования критической ишемии нижних конечностей (в месяцах); x_3 – интенсивность болевого синдрома нижних конечностей; x_4 – интенсивность болевого синдрома в сердце; x_5 – интенсивность болевого синдрома головного мозга.

Экспертный опрос и проведенный разведочный анализ структуры данных установил, что выбранные информативные признаки носят неполный и нечеткий характер, а выделенные классы состояний имеют нечеткие пересекающиеся границы.

В этих условиях согласно рекомендациям [2,3,4] для построения адекватных прогностических моделей целесообразно использовать технологию мягких вычислений, и, в частности, методологию синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил [4,6,7,8].

С учетом общих рекомендаций по синтезу гибридных решающих правил было установлено, что каждый из выбранных информативных признаков позволяет уточнять уверенность в выделяемых прогностических классах, что создает предпосылки для использования модифицированных накопительных формул Е. Шортлифа в качестве базовых моделей принятия решений, а в качестве элементарных составляющих функций принадлежности [2,3,8,9,10,11].

Таким образом, по каждому органу (сердце, нижние конечности, головной мозг) получаются системы нечетких выражений, характеризующих прогнозируемые классы состояний:

$$KY_{\ell,r} = F_{\ell,r}[(\mu_{\ell,r}(x_1), \mu_{\ell,r}(x_2), \mu_{\ell,r}(x_3), \mu_{\ell,r}(x_4), \mu_{\ell,r}(x_5))], \quad (1)$$

где $KY_{\ell,r}$ - коэффициент уверенности для органа ℓ в прогнозируемом классе r ; $F_{\ell,r}$ - функции агрегаций; $\mu_{\ell,r}(x_i)$ - функция принадлежности к классу r для органа ℓ с базовой переменной x_i ($i = 1, \dots, 5$).

Набор нечетких решающих правил типа (1) составил основу базы знаний экспертной системы реализованной на базе платформы Android для планшетных компьютеров.

Измеренные у пациентов признаки вводятся с клавиатуры планшетного компьютера путем заполнения «всплывающих» окон. Результат высвечивается на экране монитора с выделением цветом и звуком критического состояния.

Например у пациента С величина систолического давления составляет 155 мм рт. столба, частота сердечных сокращений 85 уд./мин, динамика изменения систолического артериального давления составляет 35 мм рт. ст. активное частотное протромболированное время составляет 33,5 секунды, концентрация кальция в крови 2,0.

По этим данным по формуле описанной в работе [1] планшетный компьютер рассчитывает показатель x_1 . Остальные величины вводятся с клавиатуры: $x_2=2$; $x_3=16$; $x_4=17$; $x_5=19$.

После вычислений по формулам (1) планшетный компьютер формирует заключение с уверенностью 0,99 сердце и мозг находятся в латентном состоянии и с уверенностью 0,98 в этом же состоянии находятся нижние конечности. Однако нельзя исключить, что с уверенностью 0,52 мозг находится в реверсивном состоянии или он приближается к этому состоянию и с уверенностью 0,76 в реверсивном состоянии находятся нижние конечности или они приближаются к этому состоянию. Кроме того нижние конечности с уверенностью 0,7 могут находиться в критическом состоянии или приближаться к нему.

В любом случае пациенту С следует провести дополнительные исследования с целью уточнения его состояния и назначения оптимальной схемы лечения.

Список литературы

1. Быков А.И., Устинов А.Г., Стародубцева Л.В. «Прогнозирование степени тяжести ишемического процесса сердца, головного мозга и нижних конечностей». Доклады 12-ой международной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ – 2016». Владимир – Суздаль, Россия. – 2016. – Книга 1. – с.171-173.
2. Корневский Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 472 с.
3. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский // Медицинская техника. – 2015. - №1. – С. 33-35.
4. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил по информации о геометрической структуре многомерных данных / Вестник Воронежского государственного университета. – 2011. – Т. 75. - №8. – С. 128-137.
5. Корневский, Н.А. Геометрический подход к синтезу нечетких решающих правил и для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики / Корневский Н.А., Филист С.А., Устинов А.Г., Рябкова Е.Б. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. - №4. – С. 20-25.
6. Корневский, Н.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, С.А. Горбатенко // Медицинская техника. – 2008. - №2. - С. 18-24.
7. Корневский, Н.А. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил / Н.А. Корневский, Р.В. Ручкой, С.Д. Долженков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2013. - Т. 12. - № 4. – С. 905-909.
8. Al-Kasasbeh, R. T., Korenevskiy N.A., Alshamasin, M, Klionskiy D. and Ionescu, F. Numerical software algorithms for monitoring control processes and correcting health by synthesis of hybrid fuzzy rules of decision-making on the basis of changes in energetic characteristics of biologically active points. - Int. J. Modelling, Identification and Control, Vol. 25, No. 2, 2016. – pp. 119-137.
9. Korenevskiy, N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems/ N.A. Korenevskiy//Biomedical Engineering, May 2015, Volume 49, Issue 1, pp 46-49.
10. Korenevskiy, N. A. Synthesis of the combined fuzzy rules for medical applications by using tools of exploration analysis, / N.A. Korenevsky, F. Ionescu, A.A. Kuzmin, R.T. Al-Kasasbeh// Proceeding of the International Conference on Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis, Bucharest, Romania, pp. 71-77.
11. Korenevskiy, N. A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescu, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings. - 2013. - V. 40. - IFMBE. - P. 213-216.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ АРГОНА В УСТРОЙСТВЕ ЗАЩИТЫ СТРУИ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИВКЕ НА МАШИНЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Вдовин Константин Николаевич, д.т.н, проф.,

Магнитогорский государственный технический университет;

Точилкин Василий Викторович, аспирант,

Магнитогорский государственный технический университет;

Умнов Виктор Иванович, ст. преподаватель,

Иркутский национальный исследовательский технический университет;

Точилкин Виктор Васильевич, д.т.н, проф.,

Магнитогорский государственный технический университет

Разработано устройство, исключаящее прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивающее рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. Получены аналитические зависимости по определению параметров подачи аргона для эффективной работы системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш, оснащенный защитной трубой. В результате обеспечивается стабильность процесса разливки и повышение качества разливаемого металла.

Повышенное содержание азота приводит к старению металла. Надежной защитой металла от контакта с воздухом при непрерывной разливке является использование шлакообразующих смесей, применение защитных труб с аргоновой защитой мест подсоса воздуха [1]. В связи с этим актуальной задачей является разработка и совершенствование устройств и систем для защиты стали от вторичного окисления на пути сталеразливочный ковш – промежуточный ковш (ПК) (рис. 1) [2].

Разработанное устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) изображено на рис. 1[3-5]. Устройство содержит огнеупорный стакан 1, с подводным каналом 2 и наружной конусообразной поверхностью 3, огнеупорную трубу 4. Верхняя часть отверстия трубы 4 выполнена по форме контактирующего с ней участка конусообразной поверхности 3 стакана 1 и содержит кольцеобразную выемку 5 и отверстие 6 для подвода аргона, прокладку 7, расположенную по контактирующему участку стакана 1 и трубы 4. Верхняя часть прокладки 7 имеет верхнюю торцевую поверхность, расположенную по торцевой поверхности огнеупорной трубы 4. Нижняя торцевая поверхность прокладки 7 расположена над кольцеобразной выемкой огнеупорной трубы 4. Верхняя торцевая поверхность прокладки 7 выполнена с наружным диаметром (D) не менее 1,2 диаметра (d) отверстия огнеупорной трубы 4 в верхней своей части. Прокладка 7 выполнена из пластичного огнеупорного материала.

Отмеченное конструктивное выполнение прокладки 7 обеспечивает надежную фиксацию трубы 4 относительно стакана 1 исключение прохождения воздуха в струю металла и рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку 5 трубы 4. При этом, надежная фиксация трубы 4 исключает возможность смещения трубы 4 относительно стакана 1 в течение всего цикла разливки стали из сталеразливочного ковша, что также приводит к повышению качества разливаемого металла.

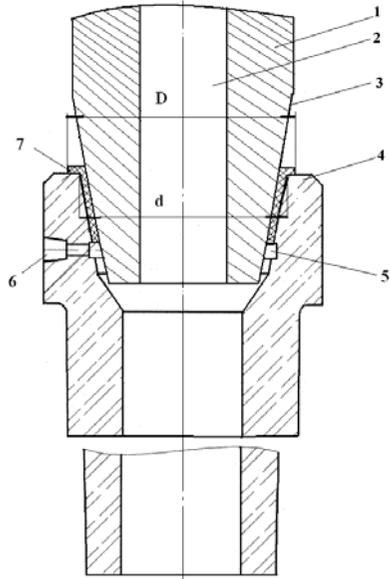


Рисунок 1 - Устройство для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ

В процессе установки огнеупорной трубы 4 относительно конусообразной поверхности 3 стакана 1 происходит смещение нижней торцевой поверхности прокладки 7, что приводит к частичному или полному перекрытию кольцеобразной выемки 5 и отверстия 6 для подачи аргона. В результате происходит подсос воздуха в струю металла при разливке. Это приводит к интенсивному насыщению разливаемого металла газами, в частности азотом, и к снижению качества непрерывно литой заготовки. Выполнение верхней торцевой поверхности прокладки 7 диаметром D меньше 1,2 диаметра d отверстия огнеупорной трубы 4 в верхней своей части позволяет избежать указанных недостатков.

При использовании данного устройства на МНЛЗ предварительно на трубу 4 в верхней части устанавливают прокладку 7. Используя манипулятор, трубу 4 фиксируют на стакане 1. При этом форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных элементов позволяет обеспечить надежную фиксацию трубы 4 в стакане 1. Затем из отверстия 6 подают аргон, а через подводящий канал 2 стакана 1 подают жидкий металл.

При разработке системы подачи аргона [6] для подсистемы защитной трубы при подаче стали в ПК следует обратить внимание на три аспекта, связанных с подачей газа:

- чистота подаваемого газа аргона;
- стабильность давления газа при продувке;
- минимальный расход газа при получении положительных результатов продувки.

Давление p в системе подачи аргона определяем по зависимости

$$p = p_a + \rho_m g h_m + \rho_{ш} g h_{ш} + \Delta p_l + \Delta p_c + \Delta p_3,$$

где p_a – атмосферное давление; $\rho_m, \rho_{ш}$ – плотности металла и шлака соответственно; $h_m, h_{ш}$ – высоты уровней в сталеразливочном ковше металла и шлака соответственно; Δp_l – потери давления по длине трубопровода; Δp_c – потери давления на выходе из сопла; Δp_3 – запас давления; g – ускорение свободного падения.

Задача, связанная с определением течения по трубопроводам аргона и истечения его через сопло в расплавленный металл, имеет некоторые сложности, связанные со сжимаемостью газа и, следовательно, меняющимся давлением и удельным объемом газа по трубопроводу. Поэтому в газодинамике предпочитают иметь дело при расчетах не с давлением, а с массовым расходом газа. При установившемся процессе в соответствии с уравнением неразрывности потока газа, массовый расход аргона плотностью ρ , протекающего через отверстие площадью f со скоростью u , определяется соотношением:

$$G = f u \rho = const.$$

Уравнения движения идеального газа при политропном режиме имеет вид [7,8]:

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} + g z_1 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2} + g z_2,$$

где u_1, u_2 ; p_1, p_2 и ρ_1, ρ_2 – соответственно скорость, давление и плотность газа в сечениях газового потока на входе в трубопровод и на выходе из трубопровода в отверстие подсистемы защитной трубы; n – показатель политропы; z_1 и z_2 – нивелированные высоты рассматриваемых точек газового потока.

Пренебрегая разностью высот, получим

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{u_2^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2}.$$

Принимая $u_1 = 0$ (т.е. пренебрегаем скоростью газа в расходном резервуаре) и, учитывая для идеального газа соотношение $\rho_2 = \rho_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}}$, получим скорость газового потока на входе в отверстие подсистемы защитной трубы

$$u_2 = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right)}.$$

Массовый расход газа

$$G = f \rho_2 \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right)},$$

или учитывая вышеприведенное соотношение для идеального газа объемный расход газа:

$$Q = f \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 \rho_1 \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right)}.$$

Для разрабатываемой подсистемы защитной трубы с подачей аргона определены параметры продувки. Подаваемое давление в аргонопроводе составит 0,25 – 0,3 МПа. Расход газа при этом должен составлять 0,25–0,4 л/мин.

Список литературы

1. Аверин, В.В. Азот в металлах / В.В. Аверин, А.В. Ревякин, В.И. Федорченко, Л.Н. Козина. – М.: Металлургия, 1976. – 224 с.
2. Вдовин, К. Н. Непрерывная разливка стали: монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. – 540 с.
3. Вдовин, К. Н. Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин [и др.] // Новые огнеупоры. – 2014. – № 7. – С. 41–43.
4. Vdovin, K. N. New Plastic Refractory Linings for Protecting a Metal Stream During Pouring into a CBCM / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2014. – Vol. 55, № 4. – P. 318 – 320.
5. Патент на полезную модель РФ 102552, МПК В22D 41/08. Устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок / В.А. Бигеев, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, А.Б. Великий, Д.В. Кашеев, О.А. Марочкин, А.А.Хоменко, С.В. Шевченко. Заявлено 07.10.2010. Опубл. 10.03.2011. Бюл. № 3.
6. Разработка систем подачи аргона для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К.Н. Вдовин, С.Н. Ушаков, О.А. Марочкин, В.В. Точилкин // Технология металлов. – 2013. – № 6. – С. 38 – 40.
7. Точилкин В.В., Филатов А.М. Пневмопривод металлургических манипуляторов: Монография.- Магнитогорск: МГТУ, 2005. – 211 с.
8. Вдовин, К. Н. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок: монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. – 348 с.

ОБ УЛАВЛИВАЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ СОЖ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Воронин Александр Александрович, магистрант,

Василенко Ольга Аркадьевна, аспирант,

Василенко Юрий Валерьевич, к.т.н., доцент

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Рассмотрены способы подачи СОЖ, направленные на улавливание и нейтрализацию отходов шлифования и вредных паров при плоском шлифовании периферией круга. Представлено обоснование и оценка эффективности нового функционального свойства СОЖ – улавливающего.

Последние годы в нашей стране и за рубежом ведутся активные научные исследования, направленные на совершенствование способов подачи смазочно-охлаждающей технологической жидкости (СОЖ) и применение различных видов энергетического воздействия на нее. Основными

действиями СОЖ являются: смазочное, охлаждающее, моеющее, диспергирующее и антикоррозионное. На сегодня известно более 2000 различных способов подачи СОЖ. Систематизируя их, применительно к плоскому шлифованию, выделено 30 основных способов, значительное число их разновидностей и комбинаций [1].

Шлифование является одним из наиболее теплонапряженных процессов механической обработки [6]. Это обстоятельство обуславливает применение СОЖ. Однако, при скоростях резания, соответствующим плоскому шлифованию образуется веерообразная форма факела отходов с вертикальным углом раскрытия до 45° (рисунок 1). В нем содержатся частицы аэрозоля СОЖ и абразивно-металлической пыли. В результате возможно раздражение дыхательных путей, а при обработке высоколегированных материалов, содержащих элементы, которые медики относят к группе ядовитых (вольфрам, ванадий, марганец, никель, хром и т. п.), возникновение хронических профессиональных, соматических и кожных заболеваний. [2]

Возможность оптимизации параметров улавливания факела отходов при шлифовании создает предпосылки к полному исключению данных выбросов и снижению себестоимости обработки за счет экономии технологической жидкости и улучшения санитарно-гигиенических условий труда.

В 2002 году был разработан новый основной способ подачи СОЖ – заградительный, предназначенный для борьбы с факелом отходов, направленно движущимся из зоны резания и являющимся основным источником загрязнений в рабочей зоне шлифовщика (рисунок 1) [2].

Рисунок 1 – Направленный поток шлама, образующийся при плоском шлифовании

В соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 под рабочей зоной понимается пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находится место постоянного (более 50 % рабочего времени или более 2 часов непрерывно) пребывания работающего.

В заградительном способе подачи СОЖ улавливаю факела шлифования отводится основное значение, что достигается посредством вертикального расположения сопла для подачи СОЖ за зоной обработки так, что на пути факела создается заградительная штора из жидкости, обеспечивающая его эффективное улавливание [2].

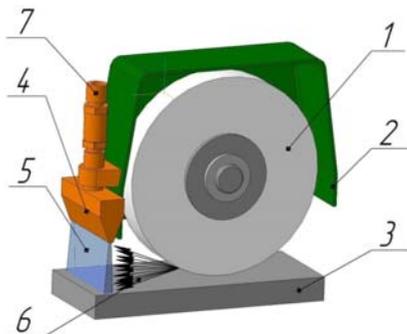


Рисунок 2 – Схема заградительного способа подачи СОЖ (1 – шлифовальный круг; 2 – защитный кожух; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – сопло для подачи СОЖ; 5 – заградительная штора из СОЖ; 6 – факел отходов; 7 – трубопровод подвода СОЖ.)

Рисунок 3 - Плотность распределения частиц в потоке шлама

Однако при заградительном способе не обеспечивается эффективная реализация СОЖ своих известных действий, что создало предпосылки к разработке в 2012 году комбинированного способа подачи СОЖ с применением заградительного способа. Методом анализа иерархий был проведен анализ основных способов подачи СОЖ и выявлены способы при которых технологическая жидкость наиболее эффективно реализует свои функции: свободно падающей струей, напорной струей, гидроаэродинамической, в среде СОЖ. Наиболее значимые из них: свободно падающей струей, в среде СОЖ [3], (рисунок 4), которые легли в основу нового комбинированного способа подачи СОЖ [4] (рисунок 5).

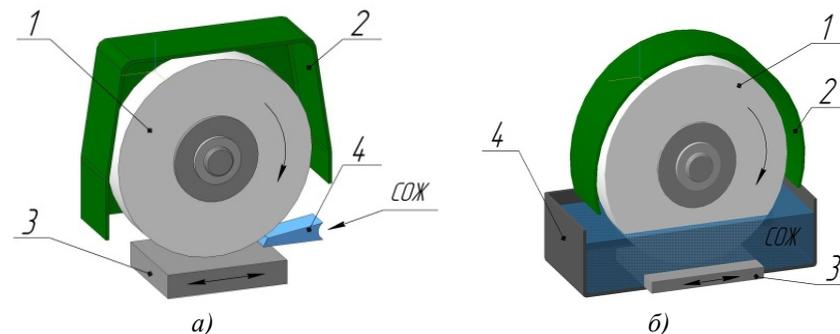


Рисунок 4 – Наиболее значимые способы подачи СОЖ при плоском шлифовании: а – поливом, б – шлифование в среде СОЖ (1– шлифовальный круг, 2– защитный кожух, 3– заготовка, 4– сопло для подачи СОЖ)

Сущность способа заключалась в том, что зона обработки по периметру полностью окружается шторами из СОЖ, а за счет наклона этих штор в зоне резания создавалась ванна из технологической жидкости. Вследствие этого, весь шлам, вылетающий из зоны резания, полностью гарантированно улавливается защитными шторами из СОЖ, а в самой зоне резания создается ванна из технологической жидкости. Уловленные частицы шлама смываются в систему очистки СОЖ станка.

Как показала опытная эксплуатация, данное устройство имеет ряд недостатков [5]:

- повышенный расход СОЖ;
- низкая эффективность при шлифовании пространственных деталей;
- повышенные энергозатраты системы подачи СОЖ станка.

С целью ликвидации указанных недостатков в 2014 году данный способ доработан с учетом применения гидроаэродинамического способа подачи СОЖ и разработано новое устройство комбинированной подачи СОЖ (рисунок 6). Устройство представляет собой моноблок, крепящийся к защитному кожуху 2 станка, к нему присоединяются трубопроводы 1, обеспечивающие подачу СОЖ. Сама жидкость образует заградительный контур 5, меньшего периметра, чем в предшествующем устройстве [6].

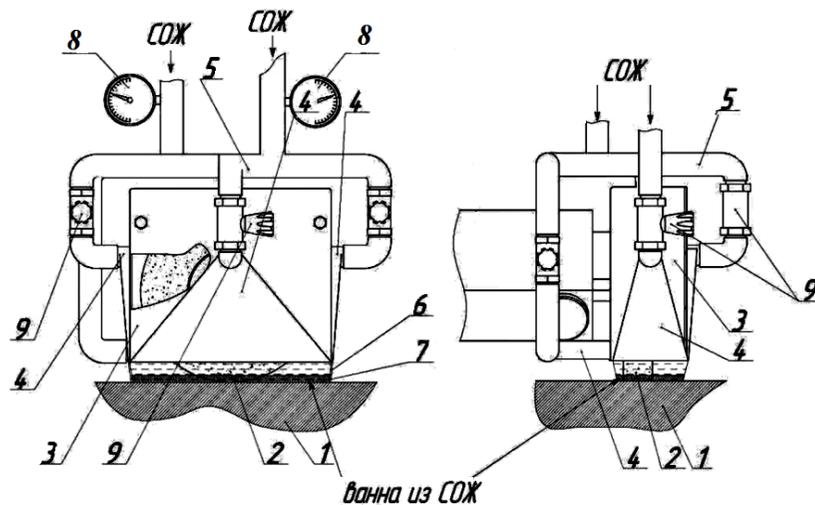


Рисунок 5 – Устройство комбинированной подачи СОЖ (1–деталь, 2–шлифовальный круг, 3–защитный кожух, 4–сопла, 5–трубопровод, 6–штора из СОЖ, 7–ванна из СОЖ, 8–манометры, 9– вентили)

Рисунок 6 – Новое устройство комбинированной подачи СОЖ при плоском шлифовании периферией круга (1– трубопровод, 2– кожух станка, 3– устройство комбинированной подачи СОЖ, 4– стол магнитный, 5– штора из СОЖ)

В нижней части устройство снабжено рядом нерегулируемых сопел 1 – 7, спозиционированных, как показано на рисунке 7, за счет которых, вокруг зоны резания формируется сплошная заградительная штора из СОЖ, улавливающая все отходы шлифования и пары СОЖ. За счет комбинации не менее 6 основных способов подачи (поливом в зону обработки, поливом

вне зоны обработки на периферию круга и на заготовку, шлифование в среде СОЖ, гидроаэродинамический, заградительный) нейтрализуется негативное влияние периферийных воздушных потоков на действие СОЖ, а, при контакте круга с заготовкой, мгновенно в зоне резания формируется проточная динамическая пространственная ванна из технологической жидкости.

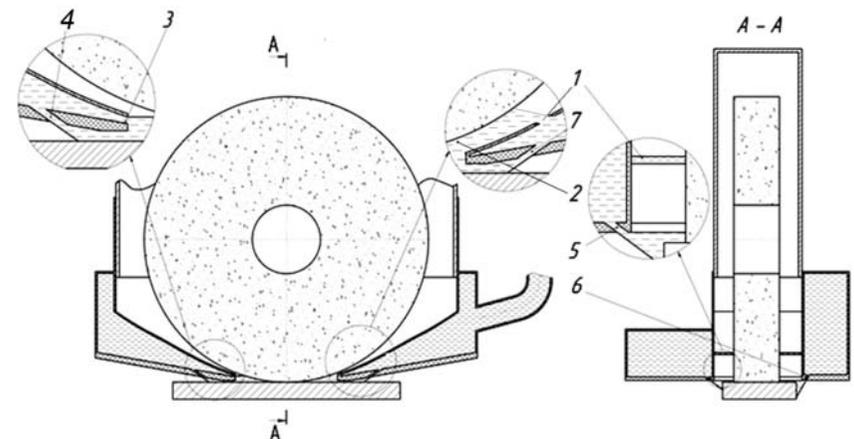


Рисунок 7 – Конструктивные особенности нового устройства комбинированной подачи СОЖ (1–сопло тыльное, 2–сопло конструктивное, 3–сопло фронтальное, 4–7 – сопла контурные)

Устройство снабжено винтами 1 (рисунок 8), обеспечивающими регулировку положения устройства при износе или правке шлифовального круга. Устройство изготавливается методом 3D-печати из **PLA-пластика: биоразлагаемый пластик**, так называемый алифатический полиэфир с мономером в виде молочной кислоты [10]. **Главное преимущество данного материала** в том, что он не токсичен, получается достаточно гладкая поверхность напечатанного изделия, хорошая детализация, простая доработка шлифовкой или другими, не требующими специального оборудования методами. Предварительно изделие разбивается на отдельные составные фрагменты, изготавливаемые по отдельности, которые затем собираются вместе посредством неразъемных соединений.

Общеизвестно, что шлифование сопровождается пылевыведением, интенсивность которого зависит от обрабатываемого материала, используемого абразивного инструмента и техники подачи СОЖ. Пыль при шлифовании представляет собой аэродисперсную систему, в которой дисперсионной средой является воздух рабочей зоны, а в дисперсную фазу входят взвешенные твердые частицы обрабатываемого материала, абразива и связки шлифовального круга, а также распыленная СОЖ.

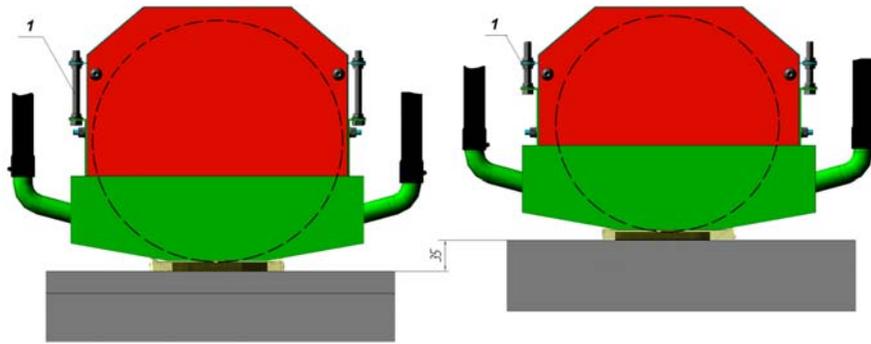


Рисунок 8 – Регулировка нового устройства комбинированной подачи СОЖ по высоте

При работе шлифовального станка пыли выделяется до 30 г/час на 1 кВт мощности дисперсностью от 0,1 до 200 мкм. Благодаря сравнительно быстрому оседанию крупных пылевых частиц (от 10 мкм и более), в воздухе производственных помещений преобладают пылевые частицы до 10 мкм, причем 70÷90% из них составляют частицы размером до 5 мкм.

Одним из самых распространенных опасных веществ, выделяющихся при шлифовании, является диоксид кремния (SiO₂), поступающий из зоны резания в виде аэрозолей дезинтеграции и конденсации и составляющий до 70% от общей массы пыли. Диоксид кремния относится к 3 классу опасности, его ПДК в рабочей зоне составляет 2 мг/м³ [7].

На основании развития техники подачи СОЖ, возможно говорить о выделении нового функционального действия (свойства) СОЖ – улавливающего, которое заключается в снижении концентрации вредных веществ в рабочей зоне оператора станка за счет нейтрализации факела отходов шлифования и аэрозолей дезинтеграции и конденсации из зоны резания путем их физического улавливания и отвода технологической жидкостью.

Численно улавливающее действие СОЖ возможно оценить через безразмерный коэффициент улавливания μ по формуле:

$$\mu = \frac{K}{ПДК} \quad (1)$$

где K – концентрация вредных выбросов в рабочей зоне, мг/м³;

ПДК – предельно допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне, мг/м³.

Улавливающее действие СОЖ можно считать удовлетворительным при значении коэффициента $\mu \leq 1$ и чем меньше это значение, тем эффективнее улавливающее действие СОЖ. Следует учитывать, что интенсивное попадание раскаленных отходов из зоны резания в СОЖ интенсифицирует ее испарение и нагрев, способно резко изменить ее состав и структуру [8, 9],

поэтому в каждом конкретном случае процесс улавливания требует взвешенного подхода.

Результаты испытаний рассмотренных способов подачи СОЖ представлены на рисунке 9. Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что наиболее эффективным, с точки зрения улавливания и нейтрализации факела отходов шлифования и аэрозолей дезинтеграции и конденсации из зоны резания, является устройство доработанного, с учетом применения гидроаэродинамического, комбинированного способа подачи СОЖ.

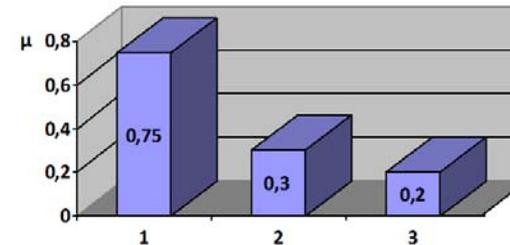


Рисунок 9 – Оценка улавливающего действия СОЖ для разработанных способов (1 – заградительный, 2 – комбинированный, 3 – новый комбинированный (прогнозируемое значение))

Список литературы

1. Василенко, Ю.В. Современное состояние техники подачи СОЖ при шлифовании / Ю. В. Василенко // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – №4. – С. 29 – 34.
2. Василенко, Ю.В. Совершенствование техники применения СОЖ при плоском шлифовании на основе закономерностей ее поведения в рабочей зоне: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. 05.02.08 / Василенко Юрий Валерьевич. – Брянск, 2002 – 24 с.
3. Прогрессивные инструменты и технологии шлифования : коллективная монография / Ардашев Д.В., Гусев В.Г., Дьяконов А.А., Василенко Ю.В., Тюхта А.В. и др. / Под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 320 с. – С. 264–307.
4. Пат. 2549806 Российская Федерация, МПК В24В55/02, В24В7/00. Устройство для подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при плоском шлифовании периферией круга / Тюхта А.В., Василенко Ю.В.; заявитель и патентообладатель Госуниверситет – УНПК. – 2013110196/02, заявл. 06.03.2013; опубл. 27.04.2015, Бюл. №12. – 6 с.
5. Василенко, О.А. Теоретическое обоснование развития комбинированной техники подачи СОЖ при плоском шлифовании периферией круга/ О.А. Василенко, В.Г. Семенов, А.В. Тюхта, Ю.В. Василенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 5. – С. 72 – 78.
6. Василенко О.А. Расширение функциональных свойств СОЖ при плоском шлифовании периферией круга / О.А. Василенко, В.Г. Семенов, А.В. Тюхта, Ю.В. Василенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 6. – С. 115–119.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 №76 (ред. от 16.09.2013) «О введении в действие ГН 2.2.5.1313–03» (вместе с «ГН 2.2.5.1313–03. Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические норма-

тивы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте России 19.05.2003 №4568).

8. Худобин, Л.В. Эффективные способы подачи СОЖ при скоростном силовом шлифовании колец подшипников / Л.В. Худобин, А.Н. Самсонов, Е.С. Киселев // Вестник машиностроения. – 1974. – № 2. – С. 61 – 65.

9. Полянсков, Ю.В. Повышение эффективности операций шлифования путем стабилизации свойств СОЖ: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: Моск. станкоинструмент. ин-т, 1989. – 34 с.

10. Материалы для 3D-принтера: [Электронный ресурс] //URL: <http://koloro.ua/blog/3d-technologie/materialy-dlya-3d-printera-pla-i-abs-plastik-a-takzhe-pva-plastik-i-nejlon.html>

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Воронцов Роман Сергеевич, студент

Преликова Елена Анатольевна, преподаватель

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

В статье рассматривается оптимизация расходов электроэнергии на металлообрабатывающих предприятиях и предлагаются мероприятия, способствующие предотвращению возникновения экологической опасности и вероятности возникновения ЧС.

В наши дни во всем мире наблюдается тенденция оптимизации потребления природных ресурсов. В первую очередь, это касается углеводородов. Очень большое их количество используется, как сырье для тепловых электростанций (ТЭС).

Считается, что на ТЭС производится относительно дешевая электроэнергия. Но одновременно с этим на станциях работают несовершенные технологии очистки выбросов загрязняющих веществ, что приводит к значительным убыткам от загрязнения территорий. Тепловые электростанции используют невозобновляемые источники энергии и выбрасывают в атмосферу колоссальные количества вредных веществ, в частности - углекислого газа, который является причиной глобального потепления. Естественно, это ведет к повышению уровня заболеваемости среди населения. Кроме того, бурное развитие ТЭС предопределяет и повышенный риск возникновения чрезвычайных ситуаций, последствия которых могут иметь весьма масштабный характер.

К сожалению, полностью исключить аварии и отказы на энергоблоках ТЭС, как и в любой другой технической системе, невозможно. Но можно попытаться снизить вероятность (риск) их наступления. Эти действия обычно сопровождаются повышением капиталовложений в совершенствование технологического процесса или в увеличение готовности (надежности) оборудования и элементов системы по производству электроэнергии.

ТЭС имеют важное стратегическое значение для развития энергетического потенциала России. Основная доля электростанций в России приходится именно на ТЭС, рисунок 1 является тому подтверждением.

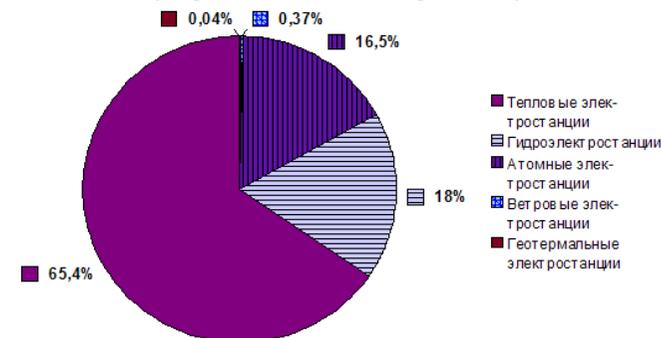


Рисунок 1 – Процентное распределение выработки энергии в России

В настоящее время достаточно актуальна тема перехода на альтернативные источники энергии. Но стало очевидно, что станции, использующие в своей работе альтернативные источники энергии, не вытеснят конкурентов, работающих на традиционных видах топлива. В данный момент гораздо более эффективным будет оптимизация расходов электроэнергии на производстве.

Огромная часть электроэнергии используется на металлообрабатывающих предприятиях. Полные затраты электроэнергии на таких предприятиях, оборудованных современными приемниками и потребителями, складываются из затрат на следующие операции:

1. Производство сжатого воздуха (компрессоры, воздуходувки, вентиляторы) - 23%.
2. Плавка металлов - 21%.
3. Нагрев и термообработка - 18%.
4. Станочные работы - 12%.
5. Сварка - 8%.
6. Подъемно-транспортные работы 5%.
7. Приготовление и подача воды (насосы) - 10%.
8. Освещение - 3%.

Авторами статьи для снижения расхода электроэнергии электроприводом металлообрабатывающего оборудования предлагается ряд мероприятий, которые будут способствовать предотвращению возникновения экологической опасности и вероятности возникновения ЧС:

1. Замена малопроизводительных станков высокопроизводительными агрегатными станками, которые способны совмещать несколько операций обработки.

2. Внесение изменений в конструкцию деталей с целью уменьшения числа операций механической обработки до минимально возможного значения.

3. Обработка заготовок с уменьшенными припусками.

4. Уменьшение времени простоя, увеличение нагрузки станков.

5. Изменение технологии обработки заготовки на более эффективную.

6. Применение скоростной обработки металлов.

7. Минимизация холостых ходов с помощью использования ограничителей холостого хода.

8. Увеличение машинного времени станка и минимизация вспомогательного путем внедрения быстродействующих установочных и зажимных пневматических и гидравлических устройств.

9. Снятие контрольных замеров без остановки обработки.

10. Налаживание поточного производства, автоматизация станков, установка автоматических линий нового поколения.

11. Изъятие неиспользуемой мощности двигателей, изменение схемы соединения обмоток со звезды на треугольник при полной нагрузке.

12. Использование двигателей с высоким коэффициентом мощности.

Рассмотрим некоторые вышеперечисленные мероприятия подробнее на примере завода «ЭлСиб», который специализируется на проектировании и выпуске асинхронных двигателей, гидрогенераторов, турбогенераторов, преобразователей частоты. Помимо выпуска оборудования, данное предприятие осуществляет комплекс работ по пуско-наладочным работам и обслуживанию систем возбуждения турбо- и гидрогенераторов, систем водородного охлаждения, систем управления электромашинными преобразователями частоты.

Итак, сверление отверстий в детали достаточно сложной конфигурации, на производстве завода «ЭлСиб», осуществляется на радиально-сверлильных станках с двигателями мощностью 7 кВт. Машинное время, необходимое на сверление одной детали, равно 26,6 минут, а расход электроэнергии - 2,3 кВтч.

Обработку перенесем на разработанный на заводе многошпиндельный агрегатный станок с двигателем 7,5 кВт, где все 38 отверстий сверлятся одновременно в течение 8 минут. Потребление электроэнергии при этом сократится до 0,94 кВтч.

При обработке шести деталей в час экономия за семичасовую смену составит:

$$(2,3 - 0,94) \times 6 \times 7 = 57,12 \text{ кВтч} \quad (1)$$

При работе цеха в три смены и количестве рабочих дней в месяц 22,6 экономия электроэнергии в год равна:

$$57,12 \times 3 \times 22,6 \times 12 = 46473 \text{ кВтч} \quad (2)$$

Таким образом, на примере одного станка можно представить картину экономии, если всё производство полностью перенести на современное оборудование.

Список литературы

1. Колесник Ю. Н. Потребители электроэнергии. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2009. – 72 с.

2. Протасов В.В., Попов В.М., Юшин В.В., Меньшикова О.Г., Салова Е.И., Преликова Е.А. Технологии экологических служб предприятий и организаций с позиции системы экологического менеджмента // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 187-190.

3. Мишустин М.С., Преликова Е.А. Влияние линий электропередач на окружающую среду и здоровье человека // Актуальные проблемы экологии и охраны труда сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет; редакционная коллегия: Л.В. Шульга (отв. редактор), В.М. Попов, А.Н. Барков, В.В. Юшин, В.В. Протасов, Е.А. Припачкина. 2015. С. 271-276.

НОВЫЙ МЕТОД НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДОМ В СРЕДЕ ПЛАЗМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИТОВОЙ ПАСТЫ

Ву Ван Гюю, аспирант

Vu Van Huy

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Россия

Russian Federation, Irkutsk

Irkutsk State Technical University

Рассмотрена новая технология насыщения углеродом в среде плазменной дуги с использованием паст и последовательность изготовления коллоидного графитового раствора для процесса цементации. Изучены микротвердость и характеристики поверхности после обработки данного метода.

В настоящее время наибольший объем ремонтных работ вызывается механическим износом, возникающим вследствие действия сил трения[1]. Проблема трения, износа деталей машин и режущих инструментов вызывает необходимость повышения ресурса работы машин. При этом работоспособность деталей машин во многом определяется поверхностным слоем, в этих слоях развиваются износ и зарождаются повреждения, снижающие срок службы деталей машин и инструментов[1,2]. Поэтому совершенствование технологии поверхностного упрочнения является актуальной проблемой в машиностроении[1].

Среди существующих основных направлений поверхностно упрочнения можно выделить поверхностную плазменную химико-термическая обработку[3,4]. Сущность данного способа заключается в изменении микроструктуры и количество дефектов в виде дислокации для повышения твердости поверхностных слоев[1,2]. В последние годы благодаря перспективным свойствам (высокая плотность энергии, высокоэффективность, экономичность, экологичность) плазменная дуга и плазменная струя полу-

чается широкое применение в промышленности для упрочнения поверхности [1,2,5].

Вместе с тем, применение данного типа источника нагрева для процесса поверхностной цементации до сих пор не достаточно изучено [1,5], хотя данное направление обработки имеет ряд достоинств по сравнению другими методами цементации т.к. высокая производительность, отсутствие деформации, отсутствие ограничения по конфигурации и размерам обрабатываемой детали и т.д. [1,3,4].

Плазменная цементация с использованием паст впервые рассмотрена в работах [1, 6, 7, 8]. Сущность данных методов заключается в нанесении на поверхность деталей углеродосодержащей обмазки или покрытия, которое оплавляется под воздействием плазменной струи. Под действием газодинамической силы плазменной струи (дуги) [1,2] происходит интенсивное перемешивание жидкого металла с углеродом и при последующей кристаллизации образуется легированный слой с большим количеством углерода. В работах [1,2,6,7,8] показано, что плазменная цементация из твердой фазы возможна только с оплавлением поверхности, т.е. образуется жидкая сварочная ванна. За счет этого упроченный деталь необходимо подвергаться дополнительной механической обработке.

Цель работы: в данной работе рассматривается новый метод [5] насыщения углеродом поверхностного слоя металла в среде плазмы с использованием графитовой пасты.

Методика выполнения плазменной цементации:

Изготовление графитового покрытия: В качестве твердого покрытия использовали пасту следующего состава: графит, жидкое стекло, вода, масло. Жидкое стекло растворяется в воде и после сушки образуется с порошком графита коллоидный раствор.

Плазменный нагрев: Плазменная нагрев выполнен на установке, которая включает источник питания на базе KempiPSS5000, осциллятор TU50 (блок управления аргонодуговой сваркой), пульт дистанционного управления C110D, цифровой анализатор MU10 (для снятия значений силы тока и напряжения), систему охлаждения WU10, баллонную установку с плазмообразующими газами (аргоном, углекислым газом), плазматрон и штатив. Штатив оснащен зажимными устройствами, которые позволяют закреплять плазматрон и менять высоту дугового промежутка. Также установка состоит из предметного стола (рис. 2). Стол оснащен специальными прижимными элементами для закрепления на нем заранее приготовленных фрагментов образцов. Движение стола осуществляется с помощью электрического привода, который работает от источника питания 24В. Регулирование скорости передвижения стола осуществляется с помощью потенциометра. Потенциометр создает сопротивление и снижает напряжение, а соответственно и скорость движения столика. Скорость передвижения стола составляет от 2 до 15 мм/с.

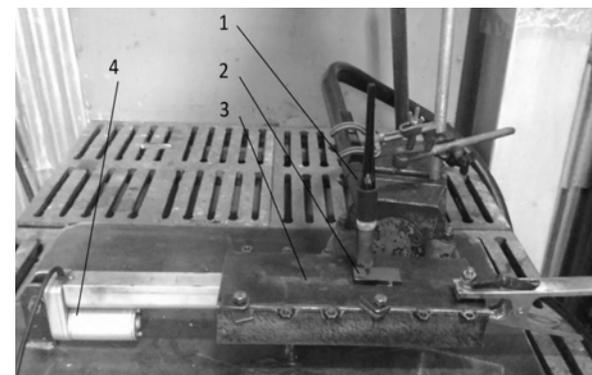


Рисунок 2 – Стол и механизм электрического привода – горелка; 2 – деталь; 3 – плата; 4 – электрический привод

Металлографическое исследование и измерение микротвердости:

Для подготовки и изучения микрошлифов использовалось методика, разработанная в работе [1] на следующем оборудовании: автоматический отрезной станок Полилаб Р100А для резки металлографических и петрографических образцов. Для запрессовки образцов использовался пресс “Полилаб С50А”. Для полировки поверхности микрошлифов использовался шлифовально-полировальный станок “Полилаб П12М”. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ – 3. Микроструктуру поверхностного слоя изучали с помощью оптическим микроскопом МЕТ-2, растровым электронным микроскопом JEOL JIB-4501.

Исследование топографии поверхности: Шероховатость поверхности до и после плазменной цементации исследовалась на профилометре «TaylorHobsonFormTalysurf i200» и оптическом профилометре «BrukerContour GT-K1».

Результат и обсуждение:

После травления шлифов в поперечном сечении под микроскопом наблюдается цементированный слой в виде белого слоя, который имеет высокую микротвердость находится в пределах от 5000 – 11000 МПа (при нагрузке 2Н) в зависимости от состава покрытия и технологических параметров обработки (скорость обработки, пятна нагрева, толщины испытуемого образца). На рис. 1 белый слой располагается по ширине дорожки упрочненного слоя



Рисунок 1 - Упрочненная дорожка с цементированным слоем

На рис. 2 представлены результаты исследования микротвердости. Видно, что отпечатки в белой зоне (цементируемом слое) меньше, чем в закаленном слое. При составе графитового покрытия с 30% графита после обработки образуется отбеленный слой (рис. 3), в основном состоящий из двух слоев: цементита, ледебурита, мартенсита. У первого слоя микротвердость фиксируется от 9000 – 10 000 МПа. Второй слой имеет небольшую толщину 15-25 мкм, и имеет микротвердость от 6000 – 8000 МПа. С увеличением количества жидкого стекла в составе графитового покрытия до 60%, в поверхностном слое получается структура отбеленного чугуна.

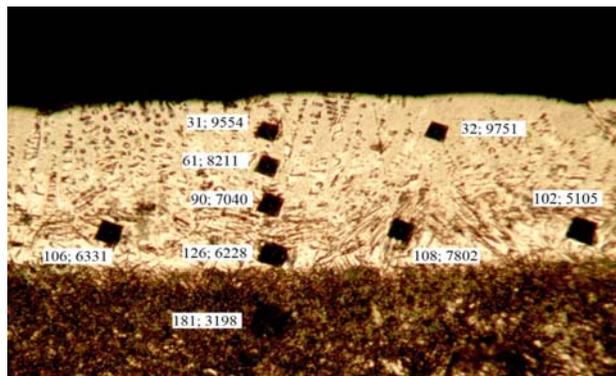


Рисунок 2 - Упроченная дорожка с отпечатками измерения микротвердости

Более детальное исследование показало, что упроченный поверхностный слой после плазменной цементации состоит из четырех подслоев: ледебурит, ледебурит + остаточный аустенит + мартенсит, остаточный аустенит + мартенсит, мартенсит (рис. 4). Микротвердость структуры поверхностного цементируемого слоя представлена в табл.1.

Таблица 1

Упроченный слой	Микротвердость
Цементит, ледебурит	9000 – 10 000 МПа
ледебурит + остаточный аустенит + мартенсит	8000 – 9000 МПа
остаточный аустенит + мартенсит	5000 – 7000 МПа
мартенсит	6000 – 8000 МПа

При обработке плазменной дугой графитовых покрытий в состав которых входит 83% жидкого стекла так же образуется отбеленный слой (рис.

5), состоящий из двух слоев: остаточный аустенит + мартенсит. Первый слой не травится и имеет низкую микротвердость 4000-5500МПа. Большое количество остаточного аустенита показывает на недостаточность скорости охлаждения при плазменной поверхностной цементации[1,2]. С помощью программного комплекса Visualenvironment 8.6 мы определили ориентировочно скорость охлаждения при различных скоростях обработки графитового покрытия. Расчет показал при скорости перемещения плазменной дуги со скоростью 5мм/с и образце размерами 20x80x10 мм максимальная скорость охлаждения составляет $V_{охл.} = 1740 \text{ }^{\circ}\text{C/c}$ [1,2,5].



Рис. 3. Микроструктура цементируемого слоя при покрытии с 30% жидкого стекла($V = 5\text{мм/с}$.)

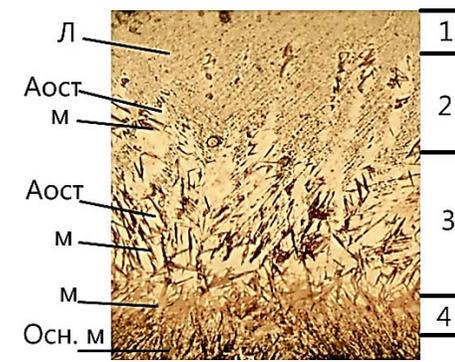


Рис. 4. Микроструктура цементируемого слоя при покрытии с 60% жидкого стекла($V = 5\text{мм/с}$.)

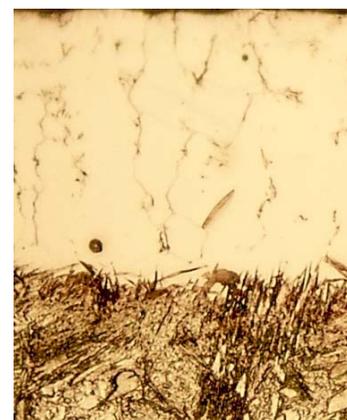


Рис. 5. Микроструктура цементируемого слоя при покрытии с 83% жидкого стекла($V = 5\text{мм/с}$, $V_{охл.} = 1740 \text{ }^{\circ}\text{C/c}$)

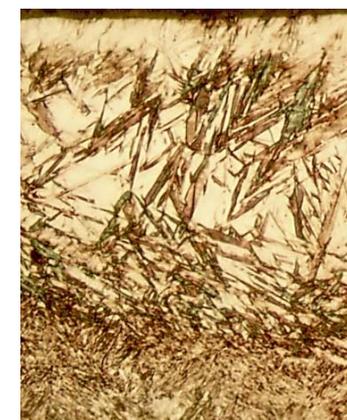


Рис. 6 Микроструктура цементируемого слоя при покрытии с 83% жидкого стекла($V = 10\text{мм/с}$, $V_{охл.} = 3450 \text{ }^{\circ}\text{C/c}$)

На рис. 6 показана микроструктура цементированного слоя после плазменного нагрева, но уже при скорости перемещения дуги 10мм/с. Видно, что количество мартенсита в цементированном слое увеличивается. Микротвердость 5000-7500Мпа в первом слое повышается. Расчёт помощью программного комплекса Visualenvironment 8.6 показывает[1,5], что скорость охлаждения составила $3450^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (максимальная скорость охлаждения). При увеличении скорости охлаждения до $5600^{\circ}\text{C}/\text{с}$ за счет снижения диаметра пятна нагрева[3,4], упрочненный слой на 90% состоит игольчатого мартенсита, с высокой твердостью 9000-11000 МПа и 10 % остаточного аустенита (рис.5)[1]. При обработке данным способом появляется граничное состояние поверхности деталей[1,2], где тонкие поверхностные слои могут иметь следы микро оплавления в виде тонкой пленки, без образования ванны жидкого металла. В таком состоянии процесс диффузии углерода в металл значительно ускоряется[1,2].

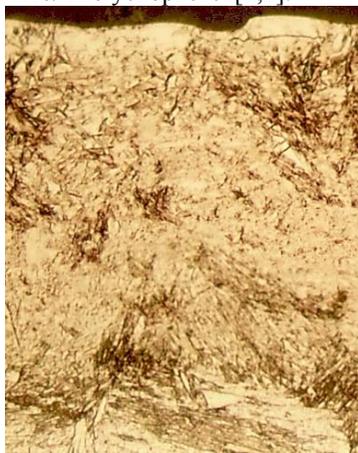


Рис. 7. Микроструктура цементуемого слоя при покрытии с 83% жидкого стекла ($V = 10\text{мм}/\text{с}$, $V_{\text{охл.}} = 5600^{\circ}\text{C}/\text{с}$)

На рис. 8-10 показаны поверхности образцов до обработки(рис.8) и после плазменной цементации с использованием паст с 70,80% содержанием графита. На рис. 8 видно след шлифовальной обработки после удаления оксидной пленкой шлифовкой. Шероховатость поверхности до плазменной обработки находится от 0,7-0,9 мкм.

Степень микронеровностей на поверхности упрочненного слоя снижается от центра упроченной дорожки к краям. Это соответствует распределению температуры анодного пятна дуги в процессе горения плазменной дуги[1]. В центре пятна температура больше[1], тогда процесс восстановления кремния, натрия из жидкого стекла происходит более интенсивно. Кинетика диффузионного процесса насыщения поверхностного слоя углеродом в присутствии других химических элементов требует отдельного

рассмотрения и частично была рассмотрена в работах[1,5]. В то же время уже сейчас видно, что есть реальная возможность осуществлять поверхностную цементацию низкоуглеродистых сталей с минимальным оплавлением поверхности.

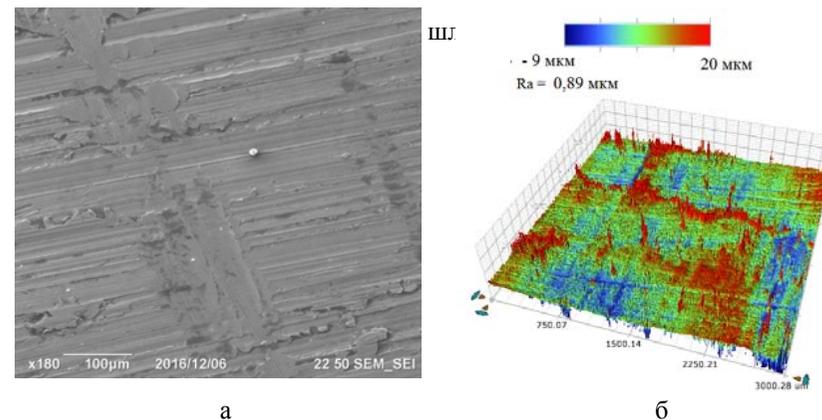


Рис. 8. Поверхность металла до обработки (после удаления оксидной пленкой шлифовкой)
а – поверхности под электронным микроскопом, б – 3Дизображение

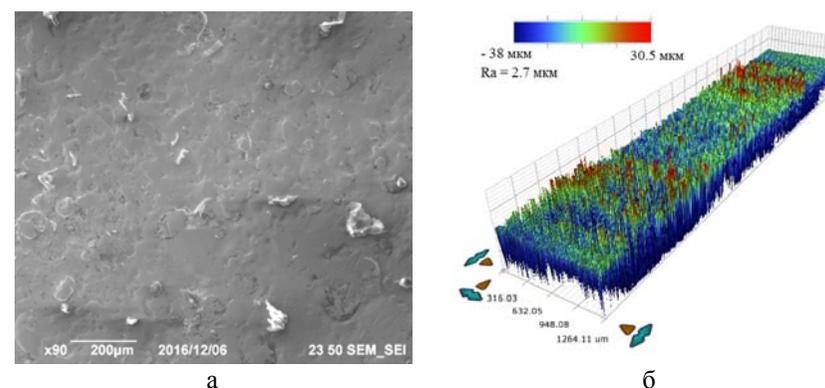
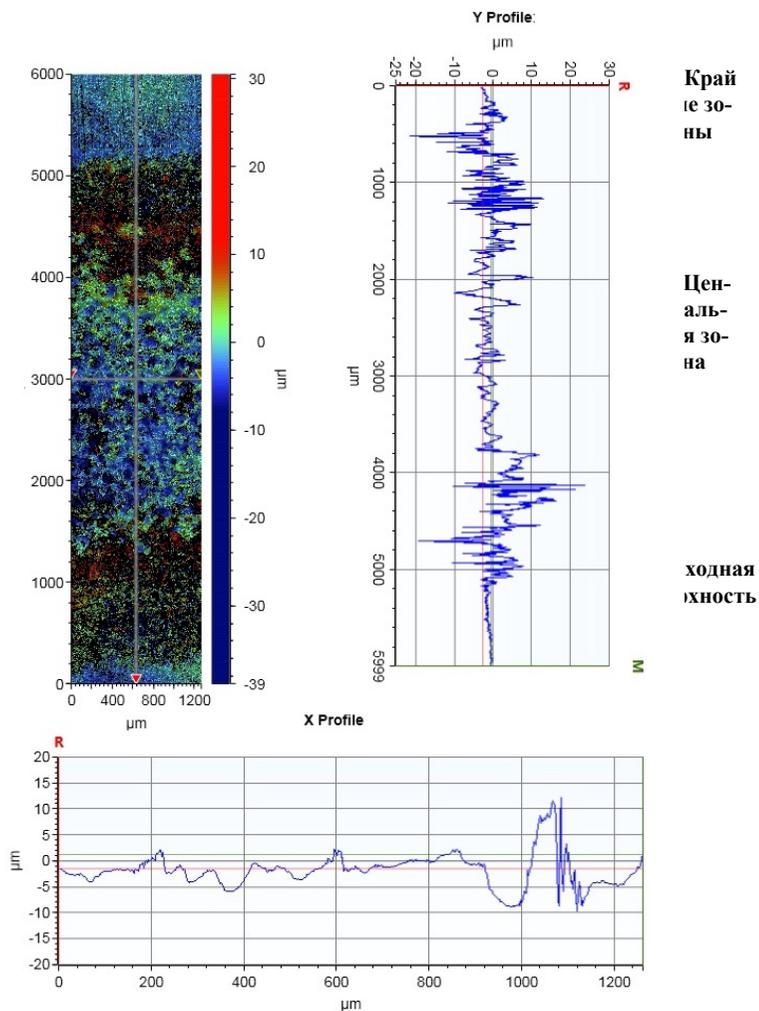


Рис. 9. Поверхности после плазменной обработке пастой с 80% содержанием графита



262

Рис. 10. Поверхности после плазменной обработки пастой с 70% содержанием графита

Вывод:

1. Разработанная новая технология плазменной цементации позволяет насыщать поверхность деталей углеродом в течение несколько секунд, при этом не происходит сильного оплавление поверхности металла. Глубина цементуемого слоя на поверхности стали Ст 3 составляет 30 - 200 мкм, а микротвердость достигает значений 8000– 11000МПа.

2. После обработки поверхность металла не разрушается, ее шероховатость находится в пределах $Ra < 5$ мкм.

Список литературы

1. Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. 180 с.
2. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор Ч.1)// Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. №12.С.18-30.
3. Балановский А.Е. - Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 2)//Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. №1.С.25-34.
4. Балановский, А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов. Часть 3 : обзор // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 2. С. 20-30.
5. Ву Ван Гюи. Плазменная цементация углеродистых сталей с использованием паст в твердой фазе// Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1.№ 1. С. 205-211.
6. Скрипкин А.А., Нещетаев В.А., Щербаков В.Е., Миненко Н.Ю. Получение теплоустойких слоев на стали 20 с использованием плазменного нагрева // Сварочное производство. 1992. № 11. С.15-17.
7. Токмаков В.П., Гречнева М.В., Нестеренко Н.А. Поверхностное упрочнение металлов плазменным нагревом // Пламенные процессы в металлургии неорганических материалов.1988. ч.2. С.56-63.
8. Бердников А.А, Филиппов М.А. Студенок Е.С. Структура закаленных углеродистых сталей после плазменного поверхностного нагрева // Металловедение и термическая обработка металлов. 1997. №6. С.2 – 4.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СИЛУМИНОВ

Гаврилова Елена Владимировна, магистрант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

В статье рассматриваются свойства литейных алюминиевых сплавов – силуминов. Описывается методика подготовки микрошлифов, проведено исследование микроструктуры.

Ключевые слова: силумины, алюминиевые литейные сплавы, интерметаллидные фазы, микроструктура, эвтектика

Введение

Литейные алюминиево-кремниевые сплавы – силумины – широко используются как конструкционные материалы. Применение этих сплавов обеспечивает снижение удельной металлоемкости узлов и конструкций при минимальной по сравнению с черными и другими сплавами трудоемкости их изготовления. Силумины должны обладать низкой склонностью к образованию горячих (кристаллизационных) трещин, хорошей жидкотекучестью, минимальной усадочной пористостью. Эти сплавы применяются во многих отраслях народного хозяйства для изготовления корпусов, деталей приборов и пр. [1].

Целью работы являлось совершенствование методики приготовления микрошлифов, изучение микроструктуры силуминов с различным содержанием кремния.

Материалы и методы исследования

В рамках данной работы исследовались силумины: доэвтектический АК7, эвтектические АК12 и АК12М2МгН, заэвтектический АК21М2,5Н2,5 [2]. Сплав АК12 отличается от остальных хорошими технологическими свойствами. В виду хорошей текучести, герметичности, коррозионной стойкости этот материал рекомендуется применять для отливки деталей техники, аппаратуры, приборов сложной формы. Доэвтектический силумин АК7 несколько уступают по технологическим свойствам эвтектическому сплаву АК12, но имеют более высокие механические свойства. Применяют сплав АК7 для наиболее ответственных отливок, сложных и крупногабаритных деталей, работающих при больших нагрузках (картер двигателя внутреннего сгорания), для литья мало и средненагруженных деталей приборов, агрегатов и двигателей, а также для бытовых изделий. Эвтектический специальный силумин АК12М2МгН и заэвтектический АК21М2Н2,5 кроме хороших литейных свойств отличаются высокой жаропрочностью, применяются изготовления поршней, ответственных деталей, работающих при повышенных температурах [3, 4]. В таблице 1 представлен химический их состав.

Таблица 1 – Химический состав силуминов [2].

Марка сплава	Массовая доля химического элемента, %							
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Ti
АК7	6	-	0,2	0,1	0,2	0,5	0,3	-
АК12	11	0,6	0,2	1,5	0,5	0,3	-	-
АК21М2,5Н2,5	20	2,2	0,2	0,9	0,2	0,2	0,8	0,2
АК12М2МгН	11	1,5	0,8	0,8	0,3	0,5	0,8	0,13

Основными легирующими элементами являются кремний, магний, медь и цинк. В качестве малых добавок используются марганец, титан, никель и некоторые другие элементы. Все основные легирующие элементы способствуют повышению прочности и твердости, но снижают в той или иной степени показатели пластичности силуминов. Существенно влияют на механические свойства медь и магний – эти элементы обеспечивают наиболее сильное упрочнение силуминов, особенно после термической обработки, одновременно заметно снижая их деформационную способность. Титан используют как модификатор структуры, способствующий повышению механических и литейных свойств за счет измельчения зерна. Марганец эффективной добавкой, уменьшающей вредное влияние железа. Никель вводят для повышения жаропрочности [5].

Поскольку силумины используются как конструкционные материалы, именно механические свойства являются для них основными показателями качества. Механические свойства зависят от способа литья, вида последующей термической обработки.

Важнейшими для промышленных силуминов механическими свойствами, определяемыми при комнатной температуре, являются: временное сопротивление, относительное удлинение, твердость (см. табл. 2).

Таблица 2 – Механические свойства силуминов [5]

Марка сплава	Механические свойства		
	Временное сопротивление разрыву, σ_b , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Твердость по Бринеллю, НВ
АК7	127...147	0,5...1,0	50...75
АК12	137...157	1...4	50
АК12М2МгН	186		90
АК21М2,5Н2,5	190		100

По характеристикам, представленным в таблице 2, оценивается качество отливок на заводах-производителях. Отливки в зависимости от технических требований подвергаются другим испытаниям, например, усталостным испытаниям на жаропрочность, а также на ударную вязкость и трещиностойкость. Если же реальные свойства ниже свойств, установленных стандартом, то отливка считается бракованной и должна либо подвергаться повторной термической обработке, либо переплавляться [2].

Помимо химического состава на свойства силуминов влияет микроструктура и характер распределения фаз в сплаве. Микроструктура, в свою очередь, формируется в зависимости от условий плавки, кристаллизации и последующей термической обработки [5, 6]. Для успешной идентификации структурных составляющих необходимо правильно приготовить микрошлифы. Способы подготовки алюминиевых сплавов описываются в литературе [6, 7]. Для получения наилучшего результата использовалось оборудование для пробоподготовки фирмы Struers [8].

Образцы для микрошлифов отрезались от отливок на станке Discotom-10 методом мокрой абразивной резки. Образцы вырезались соразмерно с формами для заливки с целью дальнейшей их обработки на шлифовально-полировальном станке Tegamin-25. Время подготовки и прочие параметры устанавливались в соответствии с рекомендациями фирмы Struers [9].

Грубое шлифование выполнялось с помощью шкурки «SiC Foil#320» с целью обеспечения выравнивания поверхности образцов. Последующее тонкое шлифование абразивным диском «Largo» и алмазной суспензией с размером частиц 9 мкм позволило удалить крупные царапины. Полированием на диске «Mol» с абразивной суспензией 3 мкм добились получения

зеркальной поверхности образцов. На последнем этапе было проводилось полирование суспензией «OP-S» с подтравливающим эффектом на диске «Chem», что дополнительно улучшило качество поверхности образцов и позволило частично выявить некоторые структурные составляющие сплавов.

Травление с целью выявления микроструктуры проводилось 10% водным раствором смеси кислот HF+HNO₃. После травления микрошлиф промывали водой.

Исследование микроструктуры силуминов выполнялось на микроскопе MET-3 в светлом поле при увеличении от 50 до 500 раз.

Исследование микроструктуры силуминов

Микроструктура силуминов представлена на рисунках 1-5. На рис. 1 представлена микроструктура сплава АК7, которая состоит из дендритов α-твердого раствора кремния в алюминии и крупнокристаллической эвтектики [α-твердый раствор + Si].

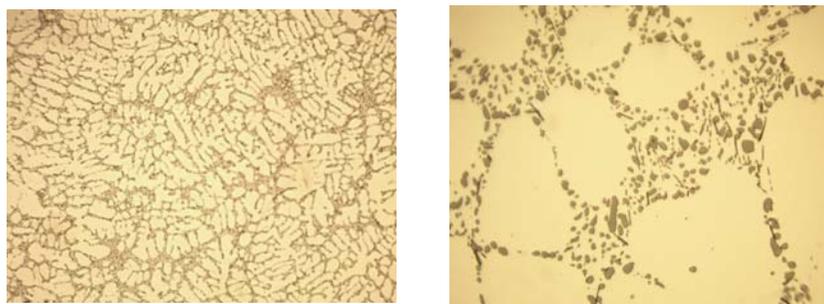


Рисунок 1 – АК7ч, х50: дендриты α-твердого раствора кремния в алюминии и эвтектика [α+Si]

В микроструктуре сплава АК12 до модифицирования (рис. 2) отчетливо видны кристаллы кремния и грубая эвтектика, которая является фазовой смесью α-твердого раствора и кристаллов кремния.



Рисунок 2 – АК12 до модифицирования, х200: кристаллы кремния и грубая эвтектика [α+Si]

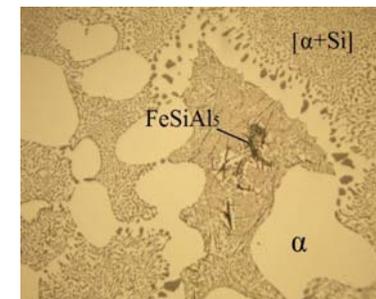


Рисунок 3 – АК12, после модифицирования, х500: α-твердый раствор, эвтектика [α+Si], включения β-фазы (FeSiAl₅)

С целью улучшения структуры и свойств силуминов проводят модифицирование сплавов— вводят в расплав модификаторы (Na, Sr), небольшие количества которых резко влияют на кристаллизацию кремния, способствуют его равномерному распределению в основной фазе – твердом растворе [5, 6, 10, 11]. В результате модифицирования сплавы приобретают более тонкую структуру, что улучшает их механические свойства. Присутствие натрия в силуминах вызывает сдвиг эвтектической точки в сторону более высоких концентраций кремния, поэтому силумин после модифицирования приобретает структуру доэвтектического. После модифицирования в микроструктуре АК12 появляются дендриты α-твердого раствора кремния в алюминии, значительно измельчается эвтектика [α+Si]. Также при большом увеличении обнаруживаются пластинчатые включения железистой β-фазы, представленные соединением FeSiAl₅ (см. рис. 3).

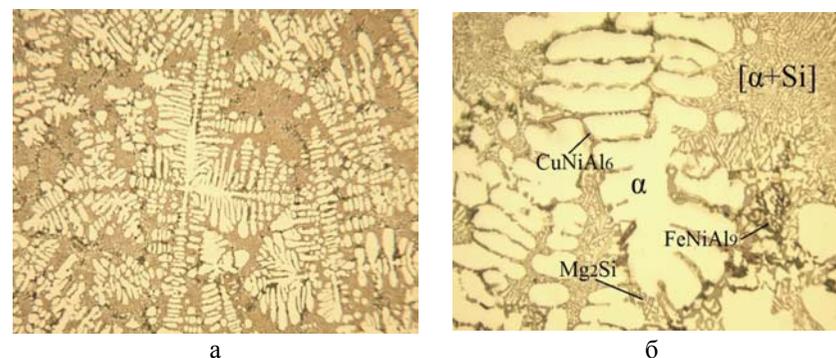


Рисунок 4 – АК12М2МгН, х100 (а); х500 (б): дендриты α-твердого раствора и эвтектики [α+Si], включения CuSi₄Mg₅Al₄, FeNiAl₉, Mg₂Si

Эвтектический легированный силумин АК12М2МгН (см. рис. 4) состоит из дендритов α -твердого раствора и колоний алюминиево-кремниевой эвтектики $[\alpha+Si]$, интерметаллидов, представленных соединениями $CuSi_4Mg_5Al_4$, $FeNiAl_9$, Mg_2Si , отличающихся по окраске и конфигурации включений [4, 6].

Микроструктура заэвтектического силумина АК21М2,5Н2,5 (рис. 5) состоит из эвтектики $[\alpha+Si]$, крупных первичных кристаллов кремния, иногда обнаруживаются включения $FeSiAl_5$ (β -фаза) и фаза W ($CuSi_4Mg_5Al_4$). Большое содержание хрома (0,2...0,4%) обуславливает образование кристаллов α -фазы [6].

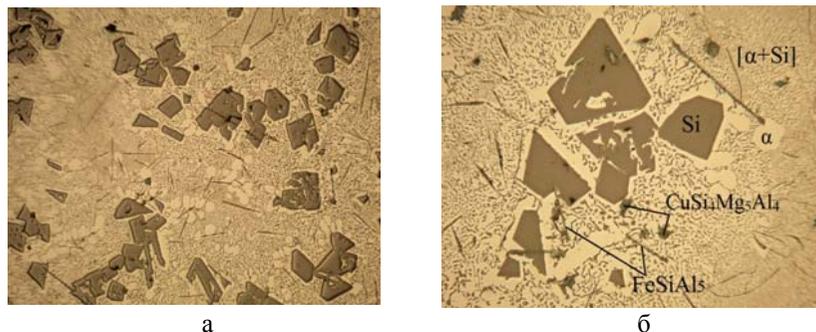


Рисунок 5 – АК21М2,5Н2,5, x50 (а), x100 (б): эвтектика $[\alpha+Si]$, α -твердый раствор, кристаллы кремния, включения $FeSiAl_5$

Заключение

Описанная методика подготовки микрошлифов с использованием современного оборудования позволила получить качественные микрошлифы силуминов, что позволило провести подробный анализ микроструктуры и облегчило визуальную идентификацию фаз. Несмотря на это, с целью уточнения фазового состава сплава дополнительно к оптическому микроанализу следует применить рентгеновские методы исследования структуры.

Список литературы

1. Золоторевский В.С., Белов Н.А. *Металловедение литейных алюминиевых сплавов*. М.: МИСиС, 2005, 376 с.
2. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия
3. Белов В.Д. Поршневые силумины. Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2005. №1(9). С.32-34.
4. Колонakov А.А и др. Повышение качества современных поршневых сплавов. ОАО «РУСАЛ Новокузнецк». Сибирский государственный индустриальный университет. Новокузнецк. С.215-217.
5. Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов* / - М.: «МИСИС», 1999. – 416 с.
6. Пригунова А.Г., Белов Н.А., Таран Ю.Н и др. Силумины. Атлас микроструктур и фактограмм промышленных сплавов / - М.: «МИСИС», 1996. – С.175.

7. Дергачев Н.Г., Николаев Д.Ю., Бузевич Г.И., Николаева Е.П. Особенности формирования структуры в сварных соединениях, выполненных из термически неупрочняемого алюминиевого сплава АМг6 // *Жизненный цикл конструкционных материалов* – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С.345-354.

8. <http://www.istu.edu/structure/54/3218/> (дата обращения 20.11.2016)

9. <http://www.struers.com/Library#> (дата обращения 20.11.2016)

10. Николаева Е.П. Влияние модифицирования на структуру силуминов // V междунар. науч. – техн. конф. «Экологические проблемы производства кремния и кремнистых сплавов», Иркутск, 1997. С.13-15

11. Ратманов А.В. Миронов Ю.Б. Ивакин В.Л. Николаева Е.П. Стронций-бариевые карбонатиты – новый вид минерального сырья для цветной металлургии // *Тематический сборник научных трудов ИрГТУ «Электрометаллургия легких металлов»*, Иркутск, 1997. С.15-17

БИОРАЗЛАГАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Гараева Айгуль Фанисовна, магистрант, ассистент кафедры «АрД»
Гаялетдинов Нур Равилевич, к.т.н., доцент кафедры «АрД»
 РТ, г. Казань Казанский национальный исследовательский технологический университет

В ходе работы были проведены экспериментальные исследования образцов композита из PLA и древесного наполнителя. Выявлено, что данные полимеры являются перспективным направлением исследований в области переработки древесины с целью создания биоразлагаемых композиционных материалов различного спектра использования.

Ключевые слова: полилактид, биodeградируемый композиционный материал, биоразлагаемые полимеры.

За последние десять лет спрос на полимеры в России увеличился более, чем в 10 раз, причем более 30% полимерных материалов используется для производства упаковки. В нашей повседневной жизни активно используются полиэтиленовые и полипропиленовые упаковочные материалы, и порой забывается о том, что после применения они превращаются в полимерные отходы, опасные для окружающей среды. Известно, что требуется более 100 лет на естественное разложение пластика, в процессе которого выделяются токсичные вещества, нарушается газообмен в почве и воде. Исследованиями установлено, что разложение пластика опасно тем, что в контактирующие с ними среды (воздух, вода, почва) выделяются химические реагенты, негативно влияющие на организм человека и животных. Вредность указанных материалов, в первую очередь, зависит от выделяющегося мономера (стирол, фенол, формальдегид, хлоропрен, уретан и др.). Токсичными могут быть и вспомогательные компоненты (катализаторы, инициаторы, растворители, пластификаторы и т.п.), используемые при

производстве полимерных материалов. Кроме этого, попадая в пищу животных, кусочки полимерных отходов могут стать причиной их гибели.

Сегодня для производства безопасных пакетов, пленок и другой пластиковой продукции наиболее эффективным средством признаны биodeградируемые пластики или биополимеры. Их изготавливают из сырья растительного происхождения или биоразлагаемых продуктов нефтехимии. В течение короткого промежутка времени (до 6 месяцев) после помещения биоразлагаемой упаковки в компостные условия, она естественным образом «поедается» микроорганизмами, не нанося вреда окружающей среде. В результате разложения такой упаковки остается лишь гумус, вода и углекислый газ [1].

Биоразлагаемые полимерные материалы по способу их изготовления можно условно разделить на несколько основных групп:

- полимеры на основе природных полимеров (натуральный каучук, белки, полисахариды, хитин, эпоксидированные масла, полимеры из ненасыщенных растительных масел, лигнин, поллулан и т.д.);
- химически синтезированные полимеры;
- микробиологические синтезированные полимеры и их смеси.

Одним из основных перспективных и многообещающих полимеров для многих видов промышленности является полимолочная кислота (полилактид, PLA). Водостойкий, биоразлагаемый гидролизом до углекислого газа, воды и метана, полимер, хорошо компостируется. Спектр его использования обширен: ламинирование бумаги для упаковки, посуда для микроволновых печей, мешки для отходов, одноразовая посуда (рис.1), упаковка для пищевых продуктов. На основе полилактидов получают сополимеры с гликолидами, капролактоном, пластифицируют собственным мономером и олигомером.



Рисунок 1 - Биоразлагаемая посуда

Свойства PLA (табл.1) зависят от стереохимического состава и могут приближаться к свойствам полипропилена (PP), полистирола (PS) или поливинилхлорида (ПВХ). PLA биологически безопасен, нетоксичен, не имеет усадки, не растворяется в спиртах и воде. Основные методы перера-

ботки PLA: экструзия (в том числе в виде волокон и нитей), термоформование, литье под давлением [2].

Однако в настоящее время широкое использование биodeградируемых полимеров затруднено из-за их высокой стоимости, по сравнению с традиционными материалами. Если последние стоят от \$1 до \$1,5 за кг, то цена на биоразлагаемые полимеры от \$4 до \$15 за кг (полигидроксibuтират) [3].

Таблица 1 - Свойства PLA

Показатели	PLA
Плотность, г/см ³	1,2-1,4
Предел текучести при растяжении, МПа	53-70
Прочность при растяжении, МПа	10-60
Модуль упругости при растяжении, МПа	350-2800
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	88-119
Модуль упругости при изгибе, МПа	0,89-1,03
Ударная вязкость, Дж/см	0,16-1,35
Твердость по Роквеллу	76-88
Температура размягчения, °С	52-165
Температура плавления, °С	165-195
Мутность, %	4-7
Глянец, G.U>	110
Водопоглощение, %	0,5-50

Стоимость PLA в 1,5-3 раза выше стоимости полиэтилена. При таком стоимостном соотношении конкуренция биodeградируемых полимеров с продуктами из нефтехимического сырья затруднительна. В связи с этим актуальным является снижение стоимости путем введения в PLA различных наполнителей. В качестве таких наполнителей могут служить древесные отходы, древесная мука и опилки. При этом в зависимости от условий дальнейшей эксплуатации древесный наполнитель может подвергаться различным физико-химическим методам обработки, таким как: термообработка (для повышения влагостойкости), ВЧ плазменная обработка (для повышения гигроскопичности), обработка ультрафиолетом (с целью повышения адгезии материала), и т.д. Себестоимость производства изделий из таких композитов будет существенно ниже. Соотношение древесного наполнителя в композите может варьироваться от 40 до 70 %. По своим упаковочным свойствам (прозрачность, гляцевая поверхность, герметичность, ударная прочность) полилактид значительно не изменится.

Для проведения экспериментальных исследований были получены образцы композита из PLA и термомодифицированного древесного наполнителя [4]. Обработанный древесный наполнитель смешивается с расплавленным полилактидом методом вальцевания для обеспечения лучшего качества смешения в соотношении 60 % древесной муки и 40 % полилактида.

Из полученной смеси методом литья под давлением изготавливали образцы прямоугольного сечения размерами 4*10*80 мм (рис.2).

Для исследования водопоглощения и набухания композита образцы были помещены в воду, где выдерживались на протяжении 28 суток. Раз в сутки образцы извлекались из воды и фиксировались их линейные размеры, а также проводилось взвешивание. Было установлено, что в зависимости от режима термомодифицирования наполнителя, изменяется водопоглощение и степень разбухания композита: при повышении температуры обработки со 180 °С до 240 °С водопоглощение снижается на 15 %, а разбухание уменьшается на 20 % (рис.3-4).



Рисунок 2 - Образец композиционного материала (PLA + древесная мука)

Соответственно, предел прочности при изгибе изменялся с увеличением времени выдержки образцов в воде и оставался более высоким для образцов с наполнителем, прошедшим термомодифицирование при более высокой температуре (рис.3). Аналогичные показатели были получены по ударной прочности по Шарпи, из которых видно, что при высокотемпературной обработке показатели прочности повышаются прямо пропорционально температуре обработки (рис.4).

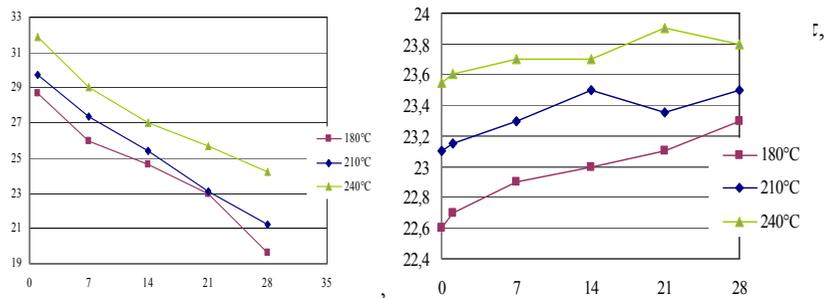


Рис. 3. Зависимость предела прочности при изгибе от времени выдержки в воде

Рис. 4. Зависимость ударной прочности по Шарпи от времени выдержки

Таким образом, по проведенному обзору биоразлагаемых полимеров можно сделать вывод, что данные полимеры являются серьезным перспективным направлением исследований в области переработки древесины с целью создания биоразлагаемых композиционных материалов различного спектра использования. Применение подобных композитов позволит снизить образование твердых бытовых отходов и, соответственно, снизить расходы связанные с утилизацией. Это одно из перспективных направлений решения глобальной экологической проблемы, связанной с загрязнением окружающей среды отходами полимерных материалов.

Работа выполнялась при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-5596.2016.8).

Список литературы

1. Влияние высокотемпературной обработки на химический состав древесного наполнителя Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность* 2016 № 1 с. 50-55.
2. Повышение экономической эффективности фанерных предприятий Сафин Р.Р., Гараева А.Ф., Ахметов А.И. *Сборник «Актуальные вопросы развития современного общества» сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции* 2016 с.266-268.
3. Перспективное направление в области упаковки Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. *Сборник «Наука вчера, сегодня, завтра: теория и практика» материалы II Международного электронного симпозиума. НОУ ВПО «Университет Российской академии образования»; УДПО «Махачкалинский центр повышения квалификации»; Научно-издательский центр «Инноватика». 2016. С. 99-107.*
4. Исследование механических характеристик биоразлагаемого композита на основе древесного наполнителя Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность* 2016 №2 с.41-45.
5. Изменение степени разложения биоразлагаемого древесного композита на основе поливинилового спирта при различной температурной обработке Ахунова Л.В., Гараева А.Ф., Сафин Р.Р.. *Сборник «Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире сборник статей Международной научно-практической конференции* 2016 с. 337-340.

ПРИМЕНЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И СИЛИКОНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛАСТИЧНЫХ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Гараева Айгуль Фанисовна, магистр кафедры «АрД»
Мухаметзянов Шамиль Рамилевич, к.т.н., доцент кафедры «АрД»
РТ, г.Казань, Казанский национальный исследовательский
технологический университет*

Исследована возможность применения древесного наполнителя и силиконового связующего в производстве эластичных напольных покрытий в качестве альтернативы для замены резиновых напольных покрытий. В ходе исследований были получены экспериментальные образцы. Выявлено, что применение измельченной древесины и силикона позволяет получить экологичные эластичные напольные покрытия хорошего качества с высокими дизайнерскими эксплуатационными, и экологическими свойствами.

Ключевые слова: древесный наполнитель, напольные покрытия, измельченная древесина, силикон, резиновая крошка.

Возрастающий в последние годы интерес к спорту вызывает увеличение количества различных спортивных объектов, детских площадок и, как следствие, появление новые технологий, материалов и стандартов качества в области строительной индустрии. В частности, сегодня трудно представить современные спортивные площадки без качественных эластичных покрытий. Поэтому все большую популярность приобретают напольные резиновые покрытия, использующиеся как в открытых условиях, так и в закрытых помещениях. Среди резиновых покрытий одно из лидирующих мест занимают покрытия из резиновой крошки: их можно встретить как на детских, спортивных площадках, так и на обычных гражданских объектах с целью повышения травмобезопасности. Эксплуатационные характеристики таких покрытий позволяют использовать их фактически в любых условиях: заливать каток в зимний период поверх покрытия, используемого в летнее время в качестве беговых дорожек и т.д. Они имеют высокие эксплуатационные характеристики и довольно удобны в использовании [1-4].

Одновременно, такое покрытие устойчиво к влаге и сохраняет эластичность на протяжении всего срока службы, легко и быстро ремонтируется и не создает электростатического напряжения. Примеры подобных напольных покрытий приведены на рис. 1.

Однако резиновые напольные покрытия могут быть выполнены различными способами, а также из различных материалов. Использование в качестве основы специально произведенной резиновой крошки вызывает колоссальное увеличение себестоимости, поэтому производители зачастую прибегают к использованию вторичного сырья, что не только сокращает себестоимость изготовления, но и, вроде бы, снижает нагрузку на экологию

гию за счет утилизации отработанных резиновых шин и покрышек. Однако, использование таких напольных покрытий в закрытых помещениях не рекомендуется, поскольку в качестве связующего состава в резину производственного назначения включают полиуретаны. При нагревании полиуретановые смолы выделяют в воздух неприятный запах, источником которого являются пары, входящего в их состав фенола – высокотоксичного соединения.



Рисунок 1 - Виды напольных покрытий из резины и резиновых крошек

Кроме того, такие напольные покрытия имеют неэстетичный внешний вид, исключая возможность подойти к вопросу с позиций дизайна. В связи с этим нами были проведены исследования по созданию высоко эластичного композиционного материала на основе измельченной древесины. Благодаря своим свойствам и достаточной дешевизне использование древесины в качестве наполнителя в композитах носит очень широкий характер, однако, в основном, это достаточно твердые материалы, которые могут использоваться в качестве финишного напольного покрытия (ламинированная MDF) или в качестве подложки (OSB, фанера, ДСП, арболит) [5]. Финишных эластичных напольных покрытий для спортивных помещений пока не существует.

Учитывая недостатки известных на сегодняшний день технологий производства эластичных материалов для напольных покрытий в детских и спортивных залах, было проведено исследование возможности использования в качестве связующего – силикона, отличающегося, прежде всего, хорошей адгезией ко многим материалам, высокой эластичностью и экологичностью. Использование силикона в качестве готового покрытия сдерживается его высокой стоимостью, снижение которой возможно путем введения дешевого наполнителя. При этом древесина в полной мере отвечает всем требованиям: экологична, недефицитна, при использовании прозрачного связующего создает хороший эстетический вид.



Рисунок 2 - Полученные образцы

Для проведения экспериментальных исследований в качестве связующего был использован прозрачный силиконовый клей-герметик с кислым типом отверждения, отличающийся дешевизной и хорошей адгезией к древесине. На рис. 2 представлены полученные образцы материала [6].

Как видно из рисунка, в зависимости от размера фракций наполнителя (от древесной муки до стружки размером 3 мм) можно получить разную текстуру материала, что впоследствии при предварительной покраске наполнителя может быть использовано при создании напольной композиции (рис. 3).

Для проведения исследований композиционных материалов, изготовленных по предложенной технологии, были получены экспериментальные образцы с различной степенью содержания древесной муки (10%, 30% и 50% наполнителя от общей массы композита). В качестве контрольного был изготовлен образец материала без наполнителя. После смешения наполнителя со связующим до начала физических и механических испытаний образцы выдерживались в течение 24 часов для окончательного застывания.



Рисунок 3 - Вариант исполнения напольной композиции

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность использования экологически чистых древесно-наполненных

композиционных материалов на основе силиконового вяжущего для напольных покрытий детских и спортивных помещений.

Список литературы

1. Сафин, Р.Р. Усовершенствование технологии производства травмобезопасных покрытий на основе резиновых крошек / Р.Р. Сафин, Н.Р. Галяветдинов // Вестник Казанского технологического университета, Т.17, №9, 2014, С. 133-135;
2. Повышение экономической эффективности фанерных предприятий Сафин Р.Р., Гараева А.Ф., Ахметов А.И. Сборник «Актуальные вопросы развития современного общества» сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции 2016 с.266-268.
3. Сафин, Р.Р. Способ изготовления древесно-наполненного композиционного материала / Р.Р. Сафин, Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Хасаншин и др. / патент РФ на изобретение RU2464162 14.02.2011;
4. Исследование механических характеристик биоразлагаемого композита на основе древесного наполнителя Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. Деревообрабатывающая промышленность 2016 №2 с.41-45.
5. Сафин, Р.Р. Разработка технологии создания влагостойкой фанеры / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин и др., Вестник Казанского государственного технологического университета, Т15, №20, Казань 2012, С. 64-65;
6. Галяветдинов, Н.Р. Усовершенствование технологии изготовления древесно-наполненных композиционных материалов / Н.Р. Галяветдинов, Деревообрабатывающая промышленность, №1, 2012, С. 25-27.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА В ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Голубчик Эдуард Михайлович, д-р техн. наук, доцент

Тарасов Павел Сергеевич, аспирант

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И.Носова, Россия*

В настоящее время получают дальнейшее развитие технологии производства металлопродукции из инновационных материалов, в частности, низкоуглеродистых микролегированных сталей высокой и повышенной прочности, которые могут быть применены при изготовлении деталей кузова современного автомобиля. В работе представлены результаты комплексных исследований влияния режима термообработки двухфазных сталей на формирование конечных механических свойств металлопроката. Проведена оценка влияния температуры обработки полосы в секциях промышленных печей отжига и перестаривания на изменение механических свойств проката из исследуемых марок стали.

Ключевые слова: высокопрочные двухфазные автомобильные стали, термообработка, механические свойства, отжиг

Интерес к низколегированным двухфазным сталям как к штампуемому материалу повышенной прочности возник еще в середине 1970-х годов на фоне первого энергетического кризиса [1]. Однако к концу 1980-х годов интерес к использованию этих сталей практически сошел на нет вследствие резкого снижения цен на горючее и недостаточной мотивации производителей автомобилей, так как для внедрения этих сталей требовались существенные коррекции штампов и сварочного оборудования.

Ситуация резко изменилась в последние годы прежде всего в связи с введением обязательных, постоянно растущих, требований по безопасности пассажиров [2], а также ростом цен на топливо и стальной прокат, что делает важным снижение массы деталей автомобиля. Удовлетворить потребность в снижении массы кузова автомобиля можно за счет применения высокопрочных сталей.

При выборе материалов для современного автомобиля исходят из необходимости применять высокопрочную сталь только там, где выигрыш в свойствах обеспечивает минимизацию толщины листа [3]. Создание автомобиля будущего – это применение широкого спектра технологий изготовления и сборки деталей кузова с применением листов из стали различной пластичности и прочности .

Состав марок стали и возможное относительное применение их в кузове автомобиля, вес которого может быть снижен за счет использования до 90% прочной и особо прочной стали, представлен на рисунке 1. В составе этих марок стали свыше 70% двухфазных – тип стали, составляющий основу стального корпуса современного автомобиля [4].

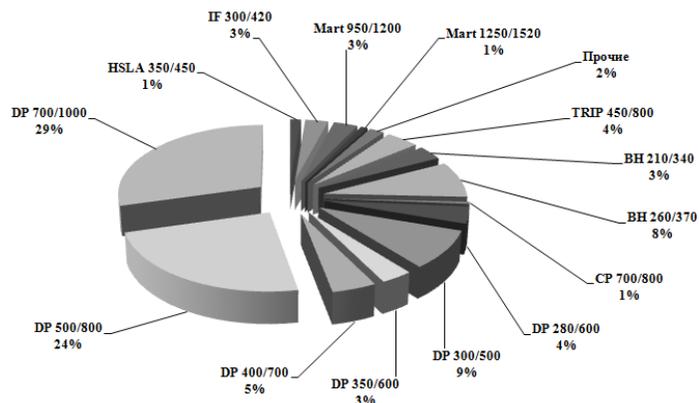


Рисунок 1 – Соотношение типов и марок стали, прочностные свойства которой благоприятны для ее применения при создании облегченного кузова автомобиля [5]

В общем ряду так называемых «прогрессивных высокопрочных сталей» (AHSS - Advanced High Strength Steels) ведущая роль принадлежит двухфазным сталям благодаря относительно низкой себестоимости их производства [6].

Достаточно сказать, что ведущие производители автолистовых сталей имеют в своем портфеле десятки марок двухфазных сталей с прочностью от 500 до 1200 МПа.

В связи с массовой локализацией производственных линий по штамповке деталей кузовов автомобилей зарубежными производителями на территории Российской Федерации, актуальным является вопрос получения необходимых механических свойств проката из высокопрочных сталей применяемых в автомобилестроении, с целью импортозамещения [7].

С точки зрения изучения процесса формирования механических свойств двухфазных сталей данных марок, при производстве металлопроката в линии непрерывного отжига представляет интерес оценивание влияния различных факторов, таких как: температуры нагрева, выдержки, ускоренного охлаждения, перестаривания, скорости обработки, параметров дрессировки полосы. Совокупность перечисленных технологических параметров в значительной степени оказывает влияние на вариацию и изменение сложного комплекса механических свойств двухфазных сталей.

Рассмотрение вопроса о степени влияния различных параметров обработки полосы поможет оптимизировать технологию производства с целью достижения необходимых прочностных и пластических свойств двухфазных низколегированных сталей, а также может способствовать созданию моделей прогнозирования свойств готового проката.

Для разработки рекомендаций по изменению режимов обработки полосы в линии агрегата непрерывного отжига необходимо определить корреляцию параметров обработки полосы с механическими свойствами готовой продукции из высокопрочных двухфазных низколегированных сталей марок НСТ780Х и НСТ980Х.

Требования предъявляемые европейскими нормативными документами к механическим свойствам и химическому составу двухфазных сталей марок НСТ780Х и НСТ980Х представлены в таблице 1, 2.

Таблица 1 – Требования европейских нормативных документов, предъявляемые к механическим свойствам высокопрочных двухфазных сталей [8]

Требования EN 10338:2015 для марки	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	ВН, МПа
НСТ780Х	440-550	≥780	≥14	≥30
НСТ980Х	590-740	≥980	≥10	≥30

Таблица 2 – Требования европейских нормативных документов, предъявляемые к химическому составу высокопрочных двухфазных сталей [8]

Марка стали	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr+Mo	Nb+Ti	V	B
Требования EN 10338:2015 для НСТ780X	≤0,18	≤0,80	≤2,50	≤0,08	≤0,015	0,015-2,000	≤1,40	≤0,15	≤0,20	≤0,005
Требования EN 10338:2015 для НСТ980X	≤0,20	≤1,00	≤2,90	≤0,08	≤0,015	0,015-2,000	≤1,40	≤0,15	≤0,20	≤0,005

В данной работе оценивалось влияние параметров температурного режима обработки полосы, произведенной в линии непрерывного отжига, на механические свойства высокопрочных двухфазных сталей марок НСТ780X и НСТ980X.

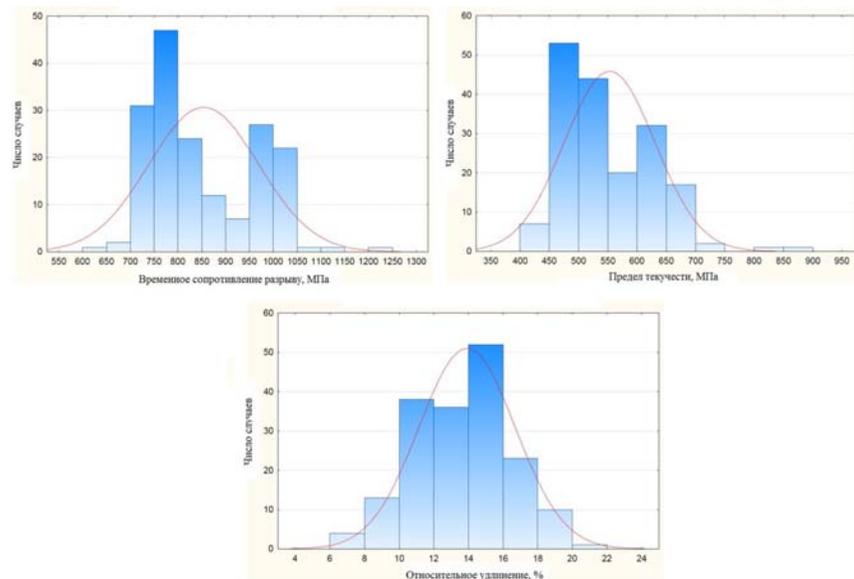


Рисунок 2 - Вариации механических свойств готового металлопроката

В ходе исследования влияния процесса термообработки на формирование свойств двухфазных сталей марок НСТ780X и НСТ980X были проанализированы результаты 167 испытаний готового металлопроката из 6 плавок. Проведен набор массива экспериментальных данных, отражающего изменение режимов обработки и вариацию полученных механических свойств. Экспериментальные исследования заключались в регистрации и обработке показаний программ учета параметров технологического про-

цесса при производстве проката. Пробы для испытаний отбирались от передних и задних концов рулонов, произведенных в линии агрегата непрерывного отжига. Усредненный химический состав стали представлен в таблице 3. Усредненные по плавке механические свойства полученных образцов представлены в таблице 4. Вариации механических свойств готового металлопроката представлены на рисунке 2.

Таблица 3 – Усредненный химический состав плавок стали по ковшевой пробе исследованных образцов марок НСТ780X и НСТ980X

№	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Al	Mo	Nb	V	Ti	B
1	0,10	0,08	2,00	0,007	0,008	0,48	0,052	0,112	0,021	0,004	0,002	0,0004
2	0,12	0,29	1,54	0,002	0,017	0,65	0,005	0,052	0,236	0,004	0,003	0,0004
3	0,15	0,17	2,04	0,005	0,011	0,48	0,043	0,209	0,023	0,004	0,002	0,0004
4	0,11	0,09	1,80	0,011	0,009	0,24	0,051	0,069	0,008	0,004	0,002	0,0003
5	0,09	0,04	1,81	0,011	0,010	0,35	0,040	0,083	0,017	0,005	0,002	0,0004
6	0,09	0,04	1,81	0,008	0,010	0,34	0,044	0,094	0,016	0,003	0,002	0,0004

Таблица 4 – Усредненные результаты испытаний механических свойств образцов, полученных в процессе производства марок стали НСТ780X и НСТ980X

Марка стали	№ плавки	Усредненные механические свойства		
		Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
НСТ980X	1	629	974	11,6
	2	504	825	16,8
	3	851	1170	8,0
НСТ780X	4	489	740	15,3
	5	502	782	15,2
	6	526	787	15,1

В данной работе методом корреляционного анализа была проанализирована связь между температурой полосы в различных камерах печей перестаривания и отжига и механическими свойствами готового проката из двухфазных микрولهгируемых сталей при производстве в линии непрерывного отжига. Поле распределения температур, зарегистрированных в ходе исследования изображено на рисунке 3. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 6,7.

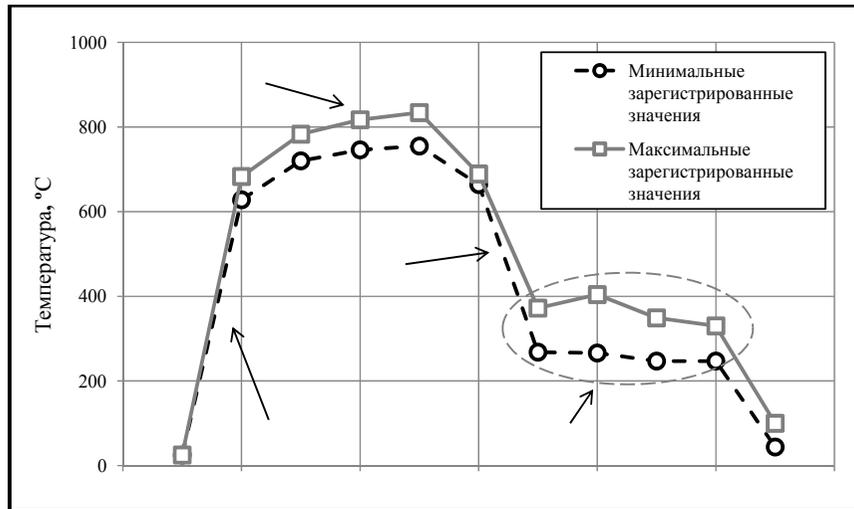


Рисунок 3 – График поля распределения температур

1 - после секции предварительного нагрева; 2 - после секции основного нагрева; 3 - после первой секции выдержки; 4 - после второй секции выдержки; 5 - после секции медленного охлаждения; 6 - после секции ускоренного охлаждения; 7 - после первой секции перестаривания; 8 - после второй секции перестаривания; 9 - после третьей секции перестаривания; 10 - после секции окончательного охлаждения

Таблица 6 – Значения коэффициентов корреляции механических свойств и показаний пирометров при термообработке стали марок НСТ780Х и НСТ980Х

Показания пирометра, №	Коэффициент корреляции		
	Для предела текучести	Для временного сопротивления разрыву	Для относительного удлинения
1	-0,199	-0,224	0,274
2	-0,314	-0,390	0,328
3	-0,373	-0,424	0,392
4	-0,462	-0,526	0,454
5	-0,323	-0,396	0,364
6	-0,480	-0,603	0,338
7	-0,178	-0,258	0,153
8	-0,221	-0,330	0,227
9	-0,239	-0,377	0,299
10	0,085	0,135	-0,162

Таблица 7 – Значения чисел Стьюдента для соответствующих коэффициентов корреляции механических свойств и показаний пирометров при термообработке стали марок НСТ780Х и НСТ980Х

Номер пирометра	Коэффициент Стьюдента			
	Для предела текучести	Для временного сопротивления разрыву	Для относительного удлинения	Табличное значение
1	2,610	2,946	3,653	1,974
2	4,243	5,437	4,454	1,974
3	5,159	6,012	5,481	1,974
4	6,685	7,935	6,551	1,974
5	4,383	5,539	5,021	1,974
6	7,020	9,711	4,609	1,974
7	2,316	3,432	1,992	1,974
8	2,906	4,495	2,993	1,974
9	3,156	5,226	4,017	1,974
10	1,100	1,750	2,105	1,974

Таблица 8 – Показатели множественной корреляции механических свойств и показаний пирометров при термообработке стали марок НСТ780Х и НСТ980Х

Показатель	Предел текучести	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение
R	0,673	0,835	0,641
F _p	12,845	35,642	10,808
a		0,950	
F		1,892	
D	45,317	69,692	41,082

Выводы. 1. Исходя из полученной информации, был сделан вывод о статистической значимости влияния параметров термообработки на механические свойства готового проката при производстве в линии непрерывного отжига. Так с доверительной вероятностью 95% статистически значимыми являются коэффициенты корреляции между режимом термообработки и относительным удлинением. Коэффициенты корреляции между температурой полосы после секции окончательного охлаждения и пределом текучести; пределом прочности не являются статистически значимыми.

2. При оценке степени влияния режима термообработки на механические свойства рассмотренных двухфазных сталей сравнивались получен-

ные в результате корреляционного анализа коэффициенты Стьюдента. В соответствии с этими данными наибольшее влияние на предел текучести и предел прочности данных сталей, оказывает температура полосы после секции ускоренного охлаждения. На относительное удлинение наибольшее влияние оказывает температура полосы после второй секции выдержки (температура отжига стали до начала охлаждения).

3. С доверительной вероятностью $\alpha = 95\%$ коэффициенты множественной корреляции механических свойств готового металлопроката и режима термообработки приведенные в таблице 8 являются статистически значимыми. Коэффициенты множественной детерминации D приведенные в таблице 8 свидетельствуют о том, что для рассмотренных условий производства проката предел текучести на 45,3% предел прочности на 69,7% и относительное удлинение образцов на 41,1% обусловлены режимом термообработки.

Список литературы

1. Yuyami S., Ferukawa T. A family of high strength, cold rolled steels // Proc. of an Int. Symposium on High-Strength Low-Alloyed Steels "Microalloying - 75" New York, October 1-3, 1975. PP. 311-333.
2. Corbett B., Priddle A. Dual Phase leads Revival // Auto Word. 2004. V. 40, No. 9. PP. 31-37.
3. Peixinho N., Jones N., Ponho A. Application of Dual-Phase and TRIP Steels on the Improvement of Crashworthy Structure // Material Science Forum, 2005. V. 502. PP. 181-186.
4. Кузова следующего поколения. Перспективы технологий обработки поверхности / Б. Осбург, А. Грюнекли, А. Патберг и др. // «Черные металлы».-2004- июль-август.- С.55-58.
5. Автомобильная сталь и тонкий лист. М. А. Беньковский, В. А. Масленников // Ч. Издательский дом «Череповец», 2007. С. 357-365.
6. Иводитов В.А. Автомобильная сталь // Производство проката.- 2005.- №1.- С.37-44.
7. Унру С.Я., Немкин М.В., Алексеев А.Н., Кандауров Е.Л. Избыточные мощности в России: угроза кризиса или потенциал роста? // Производство проката. 2013. №11. С. 40-48.
8. Голубчик Э.М., Тарасов П.С.. Оценка влияния химического состава на механические свойства металлопроката из высокопрочных двухфазных микролегированных сталей // Обработка сплошных и слоистых материалов. Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. М.В. Чукина Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. №2 (Вып.45). С. 51-57.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРАВЛЕННОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ

*Голубчик Эдуард Михайлович, д.т.н., доцент каф. ТОМ,
Медведева Екатерина Михайловна, аспирант каф. ТОМ
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»*

Телегин Вячеслав Евгеньевич, к.т.н., начальник лаборатории холодного проката НТЦ ОАО «ММК»

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

Представлены результаты исследований характеристик качества горячекатаной травленной дрессированной ленты из стали марки 07ГБЮ

Учеными ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» совместно с ведущими специалистами ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО ММК) проводится комплекс исследований по разработке новой технологии производства товарной стальной горячекатаной травленной ленты, особенностью которой является исключение операции холодной прокатки и применение операции дрессировки в качестве финишной отделки [1]. Такая лента обладает повышенной точностью геометрических параметров и улучшенным состоянием поверхности, что обеспечивает ей «дополнительный» уровень качества как товарной продукции и позволяет использовать данную ленту под холодную штамповку и вырубку деталей автомобилей, в частности, для производства дисков колес в ОАО «АВТОВАЗ» [2].

Разработанная технология предполагает набор следующих основных операций: продольный роспуск широкой горячекатаной полосы на узкие полосы и их укрупнение в бесконечную полосу для осуществления травления; солянокислотное каскадное травление в непрерывно-травильном агрегате; дрессировка травленной ленты на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане 630; упаковка готовой ленты [3, 4].

В условиях ОАО «ММК» при производстве горячекатаной травленной ленты с применением операции дрессировки в рамках настоящей работы дополнительно была исследована анизотропия ее свойств. Для оценки анизотропии свойств от рулона опытной партии горячекатаной дрессированной ленты из стали марки 07ГБЮ был произведен отбор проб для проведения следующих испытаний: на растяжение (ориентированных под углом 0° , 45° и 90° к направлению прокатки) и на твердость. Отбор проб осуществлялся на расстоянии 10,0 м от заднего конца (по ходу прокатки) горячекатаного рулона до и после дрессировки.

Дополнительно была оценена склонность проката к деформационному старению, при имитации процесса штамповки и сушки лакокрасочного покрытия диска колеса. Для этого образцы на растяжение (после дрессировки) предварительно деформировали со степенью 4,5 % на растяжной ма-

шине AG-250kNIC и выдерживали в лабораторной печи ПЛ-20/12,5 в течение 1 ч при температуре 180 °С.

Испытания на растяжение проводили на плоских пропорциональных образцах по ГОСТ 1497, контроль твердости проводили по ГОСТ 9013.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний опытной партии горячекатаной травленой дрессированной ленты из стали марки 07ГБЮ

Место отбора проб	Ориентировка образца	Толщина (h), мм	Механические свойства			
			$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ_5 , %	HRB
До дрессировки	0° (вдоль)	3,55	365	460	33	78
	90° (поперек)	3,58	400	475	37	
	45°	3,58	375	455	36	
После дрессировки	0° (вдоль)	3,45	390	475	33	80
	90° (поперек)	3,44	415	480	35	
	45°	3,49	385	460	37	
После дрессировки и старения	0° (вдоль)	3,43	435	490	28	80
	90° (поперек)	3,45	440	495	27	
	45°	3,42	430	495	29	

Из представленных результатов видно, что анизотропия свойств до и после дрессировки между различными углами к направлению прокатки по пределу текучести составляет порядка 15 - 25 МПа, пределу прочности – 20 МПа, относительному удлинению – 4 %. Операция дрессировки повышает предел текучести в среднем на 15 МПа, предел прочности – на 10 МПа, твердость – на 2 единицы. При этом на диаграмме растяжения после дрессировки отсутствует ярко выраженный предел текучести, что при последующей формовке обеспечивает повышенную точность готового изделия за счет более равномерного формоизменения.

Для исследования анизотропии шероховатости поверхности ленты Ra в рулоне были произведены замеры через каждые ≈ 50 м при длине рулона в 282 м.

Замер шероховатости поверхности производился на стационарном приборе профилограф-профилометр Hommel-tester 8000, а также на переносном приборе Surtronic 25. Замеры осуществлялись в 5 точках, за среднее

значение принималось среднеарифметическое от 5 замеров. Результаты усредненных значений Ra приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты замеров шероховатости поверхности опытной ленты Ra_{2,5}

Место отбора проб	Ориентировка образца	Шероховатость поверхности, Ra, мкм					
		Точка замера по длине полосы, м					
		0	60	110	160	220	270
До дрессировки	0° (вдоль)	1,71	1,78	1,71	1,8	1,63	1,71
	90° (поперек)	2	1,89	2,1	1,97	1,92	1,88
	45°	1,96	1,85	1,9	1,86	1,72	1,73
После дрессировки	0° (вдоль)	1,6	1,52	1,56	1,5	1,47	1,5
	90° (поперек)	1,69	1,77	1,71	1,59	1,68	1,62
	45°	1,72	1,64	1,56	1,52	1,57	1,61

Из представленных результатов видно, что анизотропия шероховатости поверхности до дрессировки между различными углами к направлению прокатки по усредненной величине показателя Ra составляет порядка 0,15 - 0,25 мкм, а после 0,07 – 0,15 мкм. Помимо снижения анизотропии шероховатости операция дрессировки повышает степень однородности ($\Delta Ra_{до др.} \approx 0,4$ мкм, $\Delta Ra_{после др.} \approx 0,3$ мкм) поверхности и снижает общий фон шероховатости в целом на 0,2 мкм.

Таким образом, по результатам исследования анизотропии свойств горячекатаной травленой ленты, до и после операции дрессировки, можно сделать вывод о незначительности влияния фактора редуцирования на различие свойств в различных направлениях от оси прокатки. Последующая переработка ленты в готовое изделие практически полностью устраняет анизотропию механических свойств, способствуя лучшему восприятию радиальных и диагональных нагрузок.

Что касается поверхности ленты, то дрессированная лента имеет более высокую однородность шероховатости, что является благоприятным для эргономичности внешнего вида и процесса нанесения лакокрасочных покрытий (рисунок 1). На опытном прокате с дрессировкой (рис. 1 а) поверхность визуально отличается от проката без дрессировки (рис. 1 б, в). На опытном прокате отсутствуют линии изломов, поверхность ровнее.

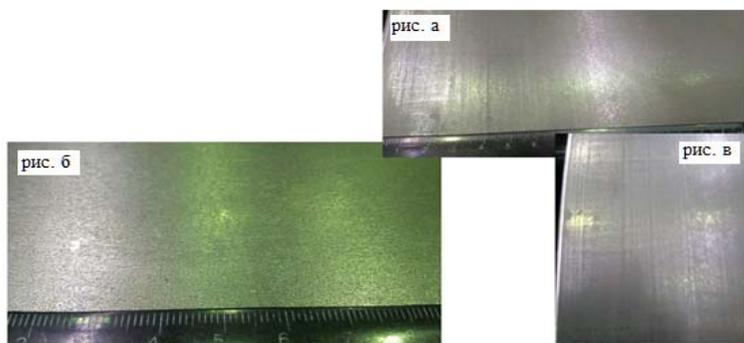


Рисунок 1 – Сравнение поверхностей опытной партии горячекатаной травленной ленты из стали марки 07ГБЮ

Однако с увеличением количества прокатанного металлопроката на рабочих валках шероховатость поверхности может изменяться.

Так, в процессе экспериментов по изучению влияния выделенных факторов на формирование Ra травленной ленты ее при дрессировке шлифованными валками производилось изучение неравномерности распределения значений данного показателя по длине рулона.

Из результатов проведенных исследований следует, что распределение шероховатости поверхности по длине полосы имеет относительно равномерный вид, при этом отмечено положительное влияние увеличения степени деформации на структуру распределения. Также по результатам экспериментальных исследований установлено, что равномерность значений показателя Ra характерна не только для поверхности конкретной полосы, но и для производственного монтажа в целом (~300 т). Это обусловлено отсутствием значительных изменений структуры микротопографии поверхности рабочих валков.

Полученная лента по разработанной технологии успешно была переработана в условиях ОАО «АВТОВАЗ» при производстве дисков колес новых моделей автомобилей (рисунок 2).



Рисунок 2 - Внешний вид колеса автомобиля «ВАЗ», полученного из опытной партии горячекатаной травленной дрессированной ленты из стали марки 07ГБЮ

Список литературы

1. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е., Васильев И.С. XVII International scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering”. Monograph № 56. Poland, Czestochowa, 2016. P. 260-266.
2. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е. Исследование технологии производства стальной горячекатаной ленты с расширенным комплексом потребительских свойств. Труды XIX Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество». Ч.2. СибГИУ, Новокузнецк, 2015. С. 155-159.
3. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е. Исследование инновационной технологии изготовления горячекатаной стальной ленты // Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производством. Материалы II международной научно-практической конференции /под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2016. С.10
4. Голубчик Э.М., Медведева Е.М. Формирование свойств горячекатаной травленной ленты при дрессировке // Материалы тр. XIII всероссийской научн.-практ. конф. «Современные проблемы горно- металлургического комплекса. Наука и производство». Том 1. - Старый Оскол. 2016. С.208-212.

ВЛИЯНИЕ ФОРМ УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

Гревнов Лев Михайлович, доктор технических наук, профессор, инженер кафедры МТиКМ

Куликова Анна Александровна, магистрант

Оглезнева Светлана Аркадьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры МТиКМ

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Исследовано влияние коллоидного графита, терморасширенного графита (ТРГ), углеродных нанотрубок на структуру и свойства порошковых сталей. Установлено, что наибольший предел прочности при изгибе у образцов с ТРГ, а наименьший относительный износ при тернии по закаленной стали 45 – у сталей с коллоидным графитом и углеродными нанотрубками.

Дисперсность частиц углерода и их форма влияют на равномерность распределения углерода в материале, формирование фазового состава и физико-механические свойства [1].

Наиболее распространенные виды графитов, которые практически используются при производстве порошковых сталей – карандашный и коллоидный [2, 3]. Удельная поверхность углеродных нанотрубок (УНТ) составляет 180-200 м²/г, наружный диаметр 30-80 нм [4]. Кроме дисперсности, они обладают высокими адсорбционными свойствами, химической и термической стабильностью, высокой прочностью и упругостью.

Цель исследований - изучить влияние различных форм углерода на структуру и свойства порошковых сталей.

Для приготовления образцов использовали порошки железа марки ВМ (ГОСТ 9849-86), коллоидного графита марки С-1 (ТУ 113-08-48-63-90), термически расширенного графита (ТРГ) производства ОАО «Новомет-Силур», материала углеродного наноструктурного «Таунит МД» (ТУ 2166-001-02069289-2007). Порошки графитов добавляли к железу в количестве 1 мас. %, таунита - 0,3 мас.%. Удельную поверхность определяли методом адсорбции азота на приборе «Sorbi 4.0» ГОСТ 23148-78. Для расчетов удельной поверхности $S_{уд}$ использовали теорию БЭТ. Смеси порошков перемешивали в смесителе 8 часов. % . Перед прессованием смеси гранулировали с 4 %-ным водным раствором поливинилового спирта (10 % от массы порошка), сушили в течение часа в сушильном шкафу. Далее порошки прессовали при давлении 400 МПа и спекали в вакууме 2 часа при температуре 1000 °С. У спеченных образцов измеряли плотность и вычисляли пористость (ГОСТ 18898-89), твердость HRB (ГОСТ 9012-59), прочность при трехточечном изгибе (ГОСТ 18227- 85). Исследование микроструктуры производилось на шлифах, травленных в нитале, с помощью металлографического микроскопа Carl Zeiss Axiovert 40MAT при увеличении 100-200. Микротвердость измеряли на ПМТ-3 при нагрузке 0,2-0,5 Н (ГОСТ 9450-76). Рентгенофазовый анализ проводили на установке Shimadzu XRD – 6000 в излучении K_{α} – Cu с Ni фильтром. Триботехнические испытания проводили на машине трения СМЦ – 2 при частоте 300 об/мин.

Использованные для приготовления порошковых смесей углеродные препараты обладали высокой удельной поверхностью, табл. 1, что соответствовало условным размерам частиц нанометрового диапазона. В структуре порошковой стали с коллоидным графитом после спекания сформировался пластинчатый перлит, в структуре стали с ТРГ – пластинчатый перлит и цементитная сетка по границам зерен перлита [2], в структуре стали с таунитом - пластинчатый перлит.

Таблица 1 - Удельная поверхность и размер частиц углеродных препаратов

Порошок	Удельная поверхность, м ² /г	Диаметр частиц, нм
Коллоидный графит	66,9	39
ТРГ	79,7	44
Таунит МД	481,0	-

В структуре порошковой стали, содержащей ТРГ, имеется цементит, поэтому наблюдали высокое значение микротвердости, табл. 2. В стали с коллоидным графитом микротвердость была в 2 раза меньше, так как при спекании произошло незначительное уменьшение содержания коллоидного графита ввиду его более высокой дисперсности и расходом его части на восстановление окисных пленок железа. Пористость после спекания всех сталей была примерно одинакова (18-21 %), наименьшее значение было в сталях с ТРГ, таблица 2. Самая низкая микротвердость была в сталях с таунитом, так как содержание углерода было низким (низкая насыпная

плотность и упругость таунита не позволили увеличить его содержание). Значения твердости исследованных сталей коррелировали со значениями микротвердости, табл. 2. Самым высоким значением предела прочности (140 МПа) обладают материалы, содержащие терморасширенный графит, несколько меньшее значение у материалов с коллоидным графитом из-за более высокой пористости, а самое низкое значение прочности у материала с таунитом - 75 МПа ввиду более низкого содержания углерода, таблица 2.

Таблица 3 – Физико-механические и триботехнические свойства порошковых сталей после спекания

Вид углеродной добавки с железом	Пористость, %	Микротвердость, МПа	Твердость, HRB	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа	Интенсивность изнашивания по стали 45
коллоидный графит	18	1700 ± 150	33 ± 5	130 ± 15	6*10 ⁻⁸
ТРГ	20	3300 ± 300	54 ± 6	140 ± 15	5*10 ⁻⁷
Таунит МД	21	1030 ± 100	28 ± 3	75 ± 10	3*10 ⁻⁷

Самая высокая интенсивность изнашивания у сталей, содержащих ТРГ, так как происходит хрупкое разрушение по границам зерен, состоящих из цементита. На порядок меньше относительный износ стали с коллоидным графитом и с нанотрубками, таблица 2.

ВЫВОДЫ

1. Терморасширенный графит и коллоидный графит, добавленные в порошковые стали в равных количествах, обеспечивают сопоставимые значения физико-механических характеристик, а интенсивность изнашивания по закаленной стали 45 на порядок ниже в стали с коллоидным графитом.

2. Добавление углеродных нанотрубок в порошковые стали в количестве 0,3 мас. % обеспечивает приемлемый уровень физико-механических и триботехнических свойств.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 16-48-590224.

Список литературы

1. Дядин Ю.А. Графит и его соединения включения // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №10. С. 43-49.
2. Формы существования углерода. Их получение и применение: Учеб. пособие/С.А.Оглезнева, Л.М. Гревнов, И.В.Жигалова и др.; Перм. гос. техн.ун.-т.- Пермь, 2003. 88 с.
2. Белова М.Ю. От «черного мела» к уплотнениям из ТРГ//Арматуростроение. – 2008. № 1 (52). С.42-49.
4. Мищенко, С.В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев. // М.: Машиностроение. – 2008. – 320 с.

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ТВЕРДОЙ ГРАФИТОВОЙ СМАЗКИ НА ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ

*Григорьева Наталия Валерьевна, аспирант
кафедры «Технология машиностроения»*

*Носков Александр Сергеевич, кандидат технических наук,
ведущий инженер-технолог, ОАО «КБПА»*

*Решетникова Ольга Павловна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология машиностроения»*

*Королев Альберт Викторович, доктор технических наук,
профессор кафедры «Технология машиностроения»*

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.*

В статье приводится описание способа нанесения твердой графитовой смазки на дорожки качения подшипников и экспериментальных исследований, подтверждающих его эффективность.

Известно, что надежность и качество работы большинства механизмов, машин и приборов во многом зависят от эксплуатационных свойств подшипниковых опор. Одним из важнейших факторов, влияющих на работоспособность подшипниковых опор, является используемая смазка. Современные виды смазок обладают высокими антифрикционными и другими необходимыми свойствами. Однако при их применении в подшипниках качения возникает ряд проблем. К числу этих проблем относятся следующие. Во-первых, в тяжело нагруженных шариковых и роликовых подшипниках в области контакта рабочих поверхностей действуют высокие контактные напряжения, под действием которых любые, даже самые эффективные виды смазок полностью или частично выдавливаются из зоны контакта и, следовательно, не оказывают в полной мере свое необходимое действие. Это приводит к повышенному трению дорожек и тел качения, повышенному износу и снижению усталостной прочности. Во-вторых, в подшипниках качения, работающих на высоких скоростях, обычная смазка создает значительное сопротивление вращению, что также вызывает повышенное трение и активный износ деталей подшипников. В особенно тяжелых условиях работают упорно-радиальные подшипники верхней опоры передней стойки легковых отечественных автомобилей, таких как «Калина», «Приора», «Гранта», а также автомобилей зарубежных изготовителей: Renault, Nissan, Ford, Volkswagen и многих других. Отечественные и некоторые импортные упорные подшипники не обеспечивают требуемый ресурс работы. Одной из причин этого является выдавливание смазки из рабочей зоны и из подшипника, в результате чего подшипники после короткого времени эксплуатации вынуждены работать без смазки.

К сожалению, существующие способы нанесения твердого антифрикционного покрытия на рабочие поверхности не достаточно совершенны. Тех-

нология их нанесения малопродуктивна, требует наличия сложного оборудования и других технических средств. Качество покрытия получается низким, под действием контактных напряжений покрытия быстро разрушаются.

Для решения поставленной проблемы на кафедре «Технология машиностроения» СГТУ имени Гагарина Ю.А. разработана прогрессивная технология обработки поверхностей дорожек качения колец упорных подшипников ультразвуковым выглаживанием с нанесением твердой графитной смазки [1].

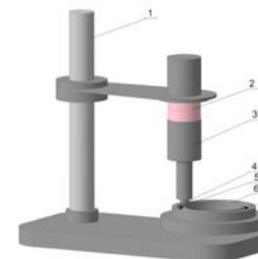


Рисунок 1 - Схема процесса обработки

С целью выявления эффективности разработанного метода нанесения твердой смазки на поверхность дорожек качения подшипников были проведены лабораторные исследования. В качестве объекта исследований использовались кольца упорных подшипников 1118-2902840-04. Подшипник предназначен для восприятия радиальных и осевых нагрузок в верхней опоре стойки передней подвески автомобилей семейства ВАЗ, моделей «Калина», «Приора» и «Гранта».

Обработка дорожек качения упорных подшипников велась по следующей схеме: на станине 1 (рис. 1) смонтирован механизм, состоящий из индентора 4, закрепленного на механическом усилителе 3, получающем ультразвуковые колебания от пьезокерамического преобразователя 2. Под действием силы P , действующей на механический усилитель 3, индентор 4 прижимается к обрабатываемой поверхности 5 детали 6, а именно к дорожке качения упорного подшипника. Величину силы P устанавливают в определенных пределах так, чтобы с одной стороны, контакт индентора осуществлялся по всему профилю обрабатываемой поверхности 5, а с другой стороны, чтобы на поверхности контакта не возникали контактные напряжения более допустимой величины. Деталь 6 имеет возможность вращаться с регулируемой скоростью. Порошок 7 графита или дисульфида молибдена засыпается на обрабатываемую поверхность 5 детали 6 в несвязанном виде.

Для осуществления обработки включают вращение детали 6 вокруг ее оси, а индентор 4, совершая ультразвуковые колебания, прижимают к обрабатываемой поверхности 5 через слой порошка 7 с силой P . По истече-

нии некоторого времени порошок 7 осуществляет диффузию в обрабатываемую поверхность 5 на заданную величину. После этого вращение детали 6 отключают, индентор отводят от обрабатываемой поверхности, обработку прекращают.

Особенность данного метода заключается в том, на поверхность детали типа дорожки качения подшипников, включающий размещение порошка на обрабатываемую поверхность и последующее воздействие через слой порошка на поверхность вращающейся детали ультразвуковыми механическими колебаниями индентора со сферической рабочей поверхностью, радиус индентора устанавливают равным минимальному значению радиуса профиля дорожки качения, минимальную силу воздействия индентора на обрабатываемую поверхность устанавливают из условия возникновения контакта индентора по всему профилю обрабатываемой поверхности, а в качестве порошка используют мелкодисперсный графит.

Графит использовали трех видов: терморасширенный графит мелкодисперсный, с размером частиц 0,1 мм, терморасширенный графит, с размером частиц 0,5 мм, и обычный аккумуляторный графит АКГ05 с размером частиц 0,3-0,5мм. На обрабатываемую поверхность насыпается графит в свободном, не связанном виде и в процессе обработки придавливается индентором к обрабатываемой поверхности. По результатам предварительных испытаний, было установлено, что покрытие на поверхности детали, распределяется равномерно, по всей площади контакта индентора и обрабатываемой поверхности. Все образцы графита, показали себя хорошо. Однако аккумуляторный графит в этом отношении оказался более пластичен и технологичен. Толщина покрытия, по всему профилю создается одинаковая, покрытие стойкое, одинаково хорошо создается химическая связь с металлом, и цена при этом на порядок ниже.

Выполнено исследование микрошлифов обработанной поверхности. Исследования показали, что толщина слоя углерода на поверхности дорожки качения составляет до 0,5 мм. Глубина измененного слоя металла составляет до 0,3 мм. Структура металла становится более мелкодисперсной.(рис 2)

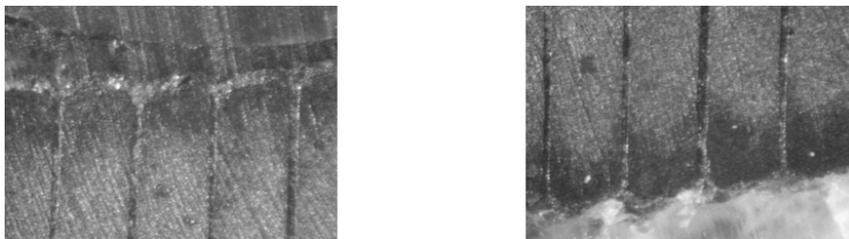


Рисунок 2 - Фотографии микрошлифов дорожек качения с увеличением 1:100

По данной технологии была изготовлена опытная партия подшипников, которая подвергалась следующим видам испытаний: измерению твердости металлических колец, радиуса профиля и диаметра дорожки качения; на момент сопротивления вращению; на статическую грузоподъемность; на сопротивление удару; ресурсные стендовые испытания.

Испытания на критическую высоту падения груза, при которой на дорожках качения в местах расположения шариков остаются видимые следы пластической деформации, показали, что критическая высота падения груза массой 23 кг для подшипников 1118-2902840-04 СМ находится в пределах 200-250 мм. Момент сопротивления вращению подшипника после удара изменился незначительно, что свидетельствует о том, что подшипник при ударе не потерял работоспособность, покрытие не потеряло своих механических свойств и не выдавилось из под поверхности контакта шарика и дорожки качения.

Ресурсные испытания подшипников 1118-2902840-04 СМ с нанесенной твердой графитовой смазкой осуществлялись на специальном стенде, показанном на рис. 3. Испытанию подвергались 2 подшипника из партии. Перед стендовыми испытаниями производился замер посадочных размеров подшипника и момента сопротивления вращению. В процессе испытаний замерялась температура подшипников, которая в течение всего периода испытаний не превышала 35 градусов.

Испытания прекратились при достижении 2450 тыс. циклов, что несколько превосходит требования ТУ: ООО «Рефмашпром» «Подшипник верхней опоры стойки передней подвески 1118-2902840-00/01/02/03. Технические требования» от 11.08.2009. В соответствии с указанными ТУ долговечность при периодических испытаниях подшипников должна составлять не менее 1,8 млн. циклов, при типовых испытаниях – не менее 2,25 млн. циклов.



Рисунок 3 - Стенд для ресурсных испытаний подшипников 1118-2902840-04

После снятия со стенда был выполнен внешний осмотр подшипника, были замерены посадочные размеры и момент сопротивления вращению

подшипников. Затем подшипники были разобраны. Внешнему осмотру подверглись дорожки колец подшипников и тела качения, определялось наличие и состояние смазки. Было установлено, что дорожки качения не имеют видимых повреждений, окрашены в серый цвет; шарики не имеют видимых повреждений, так же окрашены серый цвет, блестящие; замки сохраняют работоспособность. Смазка сохраняет свои свойства, следы графита на обеих дорожках качения. Подшипники успешно выдержали стендовые испытания и находятся в работоспособном состоянии. Геометрические параметры подшипников в процессе испытаний существенно не изменились и находятся в пределах допустимых значений. Момент сопротивления вращению подшипника после стендовых испытаний у обоих подшипников не изменился.

По всем остальным видам испытаний подшипники так же выдержали испытания, по твердости, размеру радиуса соответствуют требованиям.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность предложенной технологии нанесения твердой графитовой смазки.

Список литературы

1. Экспериментальное исследование нанесения на поверхность дорожки качения подшипников твердой графитовой смазки ультразвуковым методом [Текст] / А. С. Носков [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2013. - N 9 (105). - С. 3-6.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ В ТОЧНЫЕ ФОРМЫ И ОБРАБОТКА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА МЕТАЛЛА

Грохольский Андрей Сергеевич, магистр

e-mail: outcast57livny@mail.ru

Орловский государственный аграрный университет, г.Орел, Россия

В статье представлена перспективная технология резки в точные формы и обработка с помощью электричества металла. Данный метод помогает обрабатывать заготовки без деформаций и каких либо дефектов.

Ключевые слова: электрическая искра, электрод, проводник, диэлектрическая жидкость, сервопривод.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) - это контролируемый процесс обработки металла, который используется для удаления металла путем эрозии электрической искрой. В этом процессе электрическая искра используется в качестве режущего инструмента для получения готовой детали нужной формы.

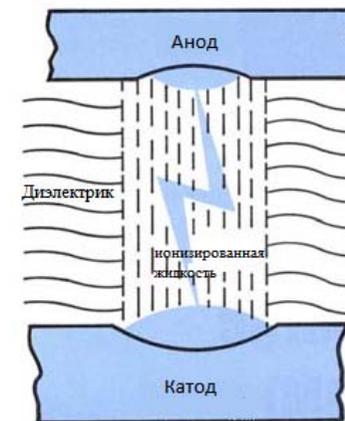


Рисунок 1 – Процесс ЭЭО

Процесс обработки металла осуществляется путем применения пульсирующего электрического заряда высокочастотного тока через электрод к заготовке. Это удаляет (разрушает) очень маленькие куски металла с заготовки с определенной скоростью.[1]

Процесс ЭЭО

Электроэрозионная обработка - это то же самое, что короткое замыкание, которое прожигает небольшое отверстие в металле при контакте. Для процесса ЭЭО материал заготовки и электрод должны быть хорошими проводниками.

Процесс ЭЭО может быть использован двумя различными способами:

1. Электрод, как правило, изготавливается из графита или меди, имеет форму в виде полости. Электрод подается вертикально вниз и обратная сторона электрода разрушается (сгорает) в твердой заготовке.

2. Непрерывные движения с вертикальным проволочным электродом, диаметр не больше иглы, проконтролированы компьютером для того, чтобы следовать запрограммированному пути, чтобы отрезать узкую неровность для получения требуемой формы.

В ЭЭО процесс электрической искрой использован для того, чтобы отрезать заготовку, которая установлена напротив режущего инструмента или электрода. Электрод и заготовка погружены в жидкий диэлектрик, как правило, легкое масло. Сервомеханизм сохраняет пространство примерно в толщину человеческого волоса между электродом и заготовкой, предотвращая их от контакта друг с другом. [2]

Диэлектрическая жидкость для ЭЭО

В процессе ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ обработки заготовка и электрод погружены в диэлектрик (масло), которое представляет собой электрический изолятор, который помогает контролировать дуговой разряд. Диэлек-

трическое масло представляет собой средство промывки, которое прокачивается через дуговой промежуток. Это удаляет взвешенные частицы заготовки и электрода от рабочей полости.

Одним из самых важных факторов в успешной операции ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ обработки является удаление металлических частиц (стружки) от рабочего зазора. Смывание этих частиц из зазора заготовки предотвращает от формирования «мостов», которые вызывают короткие замыкания.

Промывка является наиболее важной функцией в любой электроэрозионной обработке. Промывка - это процесс введения чистой фильтрованной жидкости (диэлектрика) в зазор свечи.

Неправильная промывка может привести к ошибкам в резке и плохим условиям обработки.

Существует несколько эффективных методов промывки, которые используются для удаления металлических частиц, в процессе обработки. Слишком большое давление жидкости будет удалять стружку быстрее в процессе резания, в результате металл обрабатывается медленнее. Слишком малое давление не приведет к достаточно быстрому удалению стружки, что может привести к замыканию в процессе обработки.

Провод ЭЭО диэлектрических жидкостей

Жидкий диэлектрик должен находиться под постоянным давлением, чтобы смывать металлические частицы. Если во время операции возникнут красные искры, то водоснабжение нестабильно. Чтобы исправить эту проблему нужно увеличить поток воды, пока не появятся голубые искры.

Механизм Сервопривода

Оба провода и вертикальные ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ станки снабжены механизмом серво-управления, что автоматически поддерживает постоянный зазор примерно в толщину человеческого волоса между электродом и заготовкой. Это важно для обоих типов машин, потому что нет физического контакта между электродом и заготовкой, в противном случае искрение может привести к повреждению заготовки и оборвать провода. Сервомеханизм продвигает электрод в заготовку и чувствует интервал между работой проволоки, контролирует его для поддержания надлежащей дуги, которая имеет важное значение для успешной операции по механической обработке.

Преимущества ЭЭО

Обычная машина ЭЭО может быть запрограммирована для вертикальной, орбитальной, векторной, направленной, спиральной, конусной, вращательной обработки. Эта универсальность дает ЭЭО много преимуществ по сравнению с обычными инструментами:

- Любой материал, который является электропроводящим, можно резать, используя в процессе ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ обработки.
- Закаленными деталями можно обрабатывать деформации, вызванные жарой.

- Комплекс плашки разделов и формы могут быть воспроизведены с абсолютной точностью, быстрее и с меньшими затратами.
- Процесс ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ обработки без заусенцев.
- Тонкие хрупкие разделы, такие как паутинки или ребра могут быть легко подвержены механической обработке без деформации.

Список литературы

1 Электроэрозионная обработка металлов. Справочное пособие по электротехнологии. Левинсон Е.М. Лев В.С. Издательство: Лениздат 1972, 328с

2 Технология электроэрозионной обработки Фотеев Н.К. , Издательство: Машиностроение 1980

НОВЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Грузинцева Наталья Александровна, к.т.н., доцент,
докторант кафедры материаловедения, товароведения,
стандартизации и метрологии,*

*Гусев Борис Николаевич, д.т.н., профессор,
профессор кафедры материаловедения, товароведения,
стандартизации и метрологии*

Ивановский государственный политехнический университет

Предложена новая методология оценки качества строительных материалов. Данная методология позволяет проектировать необходимый уровень качества на всех этапах производства геотекстильных материалов, на основании требований, предъявляемых потребителями данного вида продукции.

Основной проблемой, с которой сталкиваются строительные организации на этапе закупки исходных материалов это наличие на потребительском рынке контрафактной, некачественной продукции, применение которой нивелирует все преимущества геотекстильных материалов (ГТМ) и дает повод для сомнений в их надежности и эффективности. Наличие или возможность использования контрафактной продукции является негативным фактором, связанным с дальнейшей безопасностью (повреждением автомобильных дорог) и вытекающих из этого последствий (потери человеческих жизней).

Для решения данной проблемы необходимо, в первую очередь, сделать акцент на предъявляемые требования к качеству ГТМ. Процесс проектирования дорожных объектов должен начинаться с установления входных требований к качеству геотекстильного материала, заложенного в проекте, и применяемых ограничений по сырьевому составу, в зависимости от выполняемых функций [1]. В связи с этим необходимо выявить и систематизировать положения отечественных и зарубежных нормативных докумен-

тов, определяющих номенклатуру показателей качества и требования, установленные к ГТМ.

Номенклатура контролируемых показателей и методы испытаний ГТМ, в том числе и геосинтетических материалов различаются в зависимости от области применения: армирование, фильтрация, разделение др., поэтому их подразделяют на общие и специальные [2].

Общие показатели используются и определяются для всех типов, видов и структур ГТМ независимо от выполняемых ими функций. К ним относятся: природа и состав сырья; поверхностная плотность (масса 1 м^2); толщина при определенном давлении; разрывные характеристики (прочность при растяжении и разрыве), а также относительное удлинение при растяжении, максимальной нагрузке и разрыве.

В зависимости от функционального назначения используются специальные показатели, а именно: прочность при продавливании, раздирании и расслаивании; устойчивость к конусному погружению; водоупорность; водопроницаемость; коэффициент фильтрации; устойчивость к УФ-облучению; морозостойкость при циклическом замораживании и оттаивании; гибкость при температуре минус 60^0 ; коэффициент трения с грунтом; устойчивость к агрессивным средам; устойчивость к воздействию микроорганизмов и т.д.

Широкая область применения ГТМ, включающая в том числе строительство и ремонт железных и автомобильных дорог, прокладку трубопроводов, ландшафтное и гидротехническое строительство обуславливает необходимость дальнейшей разработки номенклатуры показателей и свойств с учетом функционального назначения. Так, ГТМ, используемые в качестве армирующих слоев, отличаются по номенклатуре показателей и свойствам от материалов, выполняющих дренажные, фильтрующие и разделительные функции в строительстве и ремонте дорог, а также других сооружений [3].

На сегодняшний день при оценке качества ГТМ применяется методология [4], операции которой представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Основные операции оценки качества ГТМ в соответствии с требованиями [4]

Следует отметить, что существующий подход [4] имеет свои достоинства и недостатки. Среди достоинств можно отметить целостность данной методологии в направлении контроля всех без исключения показателей качества. Однако, у данного подхода имеется ряд недостатков, а именно:

- существующая номенклатура показателей качества (ПК) по отдельным видам ГТМ сформирована на основании номенклатуры единичных показателей качества (ЕПК) родственных материалов;

- в формировании номенклатуры ЕПК не используются рекомендации РД-50-64-84 [5] по существующим группам показателей: назначения, надежности, эксплуатационные, безопасности и экологичности;

- не осуществлена возможность дальнейшего ранжирования ЕПК по их важности и приоритетности;

- отсутствуют четкие рекомендации по общей оценке качества ГТМ (например, в случае, если по одному ЕПК идет снижение относительно нормативного значения);

- не предусмотрена комплексная оценка качества ГТМ.

Таким образом, для решения вышеуказанных проблемы при оценке качества ГТМ возможно использовать другую методологию [6], представленную в виде последовательных операций на рис. 2.



Рисунок 2 – Основные операции предлагаемой методологии при оценке качества ГТМ

Предлагаемая новая методология оценки качества ГТМ основана на:

- формировании концепции "чувствительной" комплексной оценки качества, дополняющей оценку по отдельным показателям;

- выделении определяющих единичных показателей качества (ЕПК) по наиболее важным группам: назначения, надежности, эксплуатационные и т.д.;

- установление соответствующих уровней градации качества по шкале порядка.

Использование предлагаемой методики позволит промышленным предприятиям-производителям геотекстильных материалов проектировать необходимый уровень качества в соответствии с требованиями потребителей, а именно специалистов в области дорожного строительства.

Список литературы

1. Грузинцева, Н.А. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвити-

на, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. - №2. – С. 19-22.

2. Гойс, Т.О., Совершенствование системы классификации геосинтетических материалов / Т.О. Гойс, А.Ю. Матрохин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. - № 6. – С. 37-41.

3. Мухамеджанов, Г.К. О номенклатуре показателей, методах испытаний и свойствах геосинтетических материалов / Г.К. Мухамеджанов // Дороги. Инновации в строительстве / февраль 2015. - С. 16-19.

4. Азгальдов, Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г.Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1982. – 256 с.

5. РД-50-64-84. Методические указания по разработке государственных стандартов, устанавливающих номенклатуру показателей качества групп однородной продукции. – М.: Стандартинформ, 1985. – 8 с.

6. Федосов, С.В. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве / С.В. Федосов, П.И. Поспелов, Т.О. Гойс, Н.А. Грузинцева, А.Ю. Матрохин, Б.Н. Гусев // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. - №1. – С. 101-106.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Гусев Владимир Григорьевич, докт. техн. наук, профессор

Морозов Алексей Валентинович, канд. техн. наук, доцент

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

В статье рассмотрена практическая реализация способа высокочастотной дискретизации режущей поверхности шлифовальных кругов с использованием гидроабразивной струи высокого давления. Высокая частотная дискретизация инструмента позволяет снизить тепловую напряженность процесса шлифования, уровень вибрации технологической системы и повысить геометрическую точность шлифованных поверхностей.

Решение проблемы снижения уровня вибрации технологической системы, уменьшения шероховатости, волнистости, погрешности формы ответственных деталей машин при динамичном дискретном шлифовании на основе использования высоко концентрированных потоков энергии в научно-технической литературе не рассматривалось.

Гидроабразивная струя высокого давления представляет собой высоко концентрированный поток энергии, который позволяет сформировать режущую поверхность шлифовального круга в виде режущих и прерывающих процесс резания участков сравнительно малых размеров (в пределах единиц мм). Это обстоятельство в принципе изменяет динамику дискретного шлифования, уменьшая на порядок временные составляющие цикла

«резание-отдых» по сравнению с дискретным шлифованием известными инструментами [1, 2].

Если время резания и отдыха в каждом единичном цикле мало и составляет $1 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-5}$ секунды, то инерционная механическая система шлифовального станка после упругой деформации, возникшей в результате нанесения единичного реза на обрабатываемую поверхность заготовки, не успевает упруго восстановиться до своего первоначального состояния, как происходит нанесение следующего единичного реза. Такой механизм снятия припуска приводит к повышению частоты нанесения единичных резов на обрабатываемую поверхность и снижению динамической активности технологической системы, а, следовательно, уменьшению уровня её вибрации с вытекающими отсюда положительными аспектами.

Это научное положение, впервые сформулированное авторами, позволяет определить новое, перспективное направление исследований инструментов и процессов дискретного шлифования. До настоящего времени научные исследования процессов дискретного шлифования в такой постановке вопроса не проводились.

На сегодня нет теории процесса дискретного шлифования инструментами с высокочастотным прерыванием процесса резания, отсутствуют основополагающие математические модели формирования геометрии поверхностей, обработанных инструментами с малыми масштабами дискретизации, без которых невозможно качественное проектирование дискретных шлифовальных инструментов и высокоэффективных процессов абразивной обработки.

Для реализации процесса высокочастотной дискретизации режущей поверхности шлифовального инструмента известные способы дискретизации (способ прессования, механической обработки, сборки дискретного инструмента и др.) не пригодны, поскольку они не обеспечивают требуемой механической прочности шлифовальных кругов при малых масштабах их дискретизации.

Попытка авторов реализовать высокочастотную дискретизацию режущей поверхности шлифовальных кругов путем вырезания отверстий механическим способом, сборки абразивных сегментов в металлическом корпусе и др. не увенчалась успехом, поскольку таким образом изготовленные инструменты на выдерживали нагрузки в процессе испытания их на механическую прочность и разрушались при вращении на холостом ходу на частоте вращения, оговоренной стандартом.

В этой связи авторы разработали способ [3], при котором высокочастотная дискретизация режущей поверхности шлифовального круга осуществляется гидроабразивной струей высокого давления путем выполнения в теле шлифовального круга системы радиальных или наклонных отверстий, расположенных строками, параллельными оси вращения круга, при этом расстояние между смежными строками, измеряется единицами миллиметров.

Экспериментальную отработку процесса дискретизации периферийной режущей поверхности инструмента по предложенному способу проводили на гидроабразивной установке ALBA 4–1313, для этого была разработана и изготовлена соответствующая технологическая оснастка.

Давление рабочей смеси в гидроабразивной установке составляло 5,33 МПа, а давление воды в контуре высокого давления $p = (384–432)$ МПа. Для вырезания системы радиальных отверстий в теле шлифовального круга использовали гранатовый абразив типа GMA Garnet Mesh 80, размер частиц абразива – 0,178 мм, расход гранатового абразива $Q_{абр} = 150$ г/мин. Диаметр гидроабразивной струи высокого давления на выходе из сопла $d_c = 0,25$ мм, диаметр фокусирующей трубки $d_{ф.т.} = 0,76$ мм, длина трубки $L_{ф.т.} = 75$ мм.

Была спроектирована и изготовлена технологическая оснастка для реализации процесса высокочастотной дискретизации режущей поверхности шлифовальных кругов, которая включает в себя плиту 1 (рис. 1, а) и стойку 2, к которой прикреплен держатель 3 болтами 11.

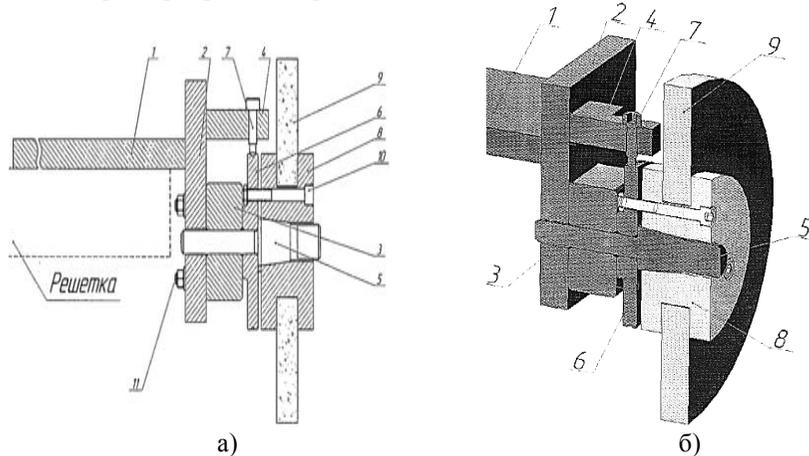


Рисунок 1 - Экспериментальная установка для высокочастотной дискретизации шлифовального круга гидроабразивной струей высокого давления: б – продольное сечение, а – 3D-модель установки.

На стойке 2 закреплен фиксатор 4 с винтом 7. В отверстие держателя 3 вставлен вал 5, на коническую ступень которого установлена планшайба 8, скрепленная болтами 10 с диском 6. По периферии диска 6 просверлены радиальные отверстия, угловой шаг которых определяется окружным шагом радиальных отверстий, наносимых на режущую поверхность шлифовального круга. Делительный диск 6, планшайба 8 и шлифовальный круг 9 жестко соединены между собой болтами 10. При повороте диска 6 на один шаг шлифовальный круг поворачивается на окружной шаг вырезаемых отверстий.

Для поворота шлифовального круга на один окружной шаг винт 7 выворачивают из фиксатора, освобождая диск 6. Поворачивают диск 6 вместе с шлифовальным кругом на один окружной шаг и вворачивают винт 7, фиксируя тем самым шлифовальный круг в новой угловой позиции для вырезания отверстий по второй строке. Дискретизация заканчивается после вырезания всех отверстий в шлифовальном круге.

Геометрическая точность отверстий, выполненных в теле шлифовального

круга, определяется равномерностью удаления абразивных зерен, связки и траекторией движения струи высоко концентрированного потока энергии. Погрешности формы вырезанных отверстий приводят к дисбалансам круга, что сказывается на снижении точности шлифованных поверхностей.

В этой связи авторы разработали пять схем движения струи высоко концентрированного потока энергии, провели экспериментальные исследования процесса вырезания отверстий с использованием этих схем и на основании результатов экспериментов была выбрана схема, обеспечивающая требуемую точность вырезанных отверстий.

Достоинство гидроабразивной струи высокого давления состоит в том, что она исключает термическое повреждение материала шлифовального круга, так как в процессе дискретизации, кроме свободного абразива, используется вода под высоким давлением, что является эффективным охлаждающим средством зоны обработки. Этот факт позволяет сохранить исходную структуру абразивного материала и избежать появления цветов побежалости в области вырезаемых отверстий при использовании другого высоко концентрированного потока энергии, например, лазерного луча.

На установке гидроабразивной резки ALBA 4-1313 были вырезаны 245 радиальных отверстий диаметром 2,5 мм при режиме: давление воды в контуре высокого давления $p = 240$ МПа, размер частиц абразива – 178 мкм, расход абразива – 150 г/мин, диаметр сопла $d_c = 0,25$ мм, скорость перемещения режущей головки $F = 1,0$ м/мин.

В результате установлено, что машинное время на вырезание 245 отверстий на глубину 25 мм составило 115 минут, в то время как при прожигании тех же отверстий лазерным лучом машинное время составило 480 минут. Столь большая разница в производительности объясняется необходимостью кратковременного воздействия лазерного луча на абразивный материал шлифовального круга во избежание его термического повреждения.

С использованием гидроабразивной струи высокого давления были изготовлены партии дискретных шлифовальных кругов, при этом получены стабильные результаты по времени дискретизации и качеству инструмента.

Список литературы

1. Gusev V.G., Morozov A.V. Distribution of Thermal Fields in Face Grinding by Slotted Abrasive Segments. Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 3, pp. 169–173. ISSN 1068-798X.

2. Gusev V.G., Morozov A.V., Shvagirev P.S. Shaping of Discrete Abrasive Segments for Plane Face Grinding. Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 4, pp. 258–261. ISSN 1068-798X.

3. Патент № 2520169 Российская Федерация, В24D 18/00, В24С 1/00. Способ дискретизации абразивного инструмента // Гусев В. Г., Морозов А. В., Метелкин О. Ю.; заявл. 02.11.2012; опублик. 20.04.2014. Бюл. №9.

ПОМОЩНИКИ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Дикевич Антон Владимирович, аспирант

Саплинова Виктория Владимировна, магистрантка

Корнеев Артем Сергеевич, ст. преподаватель

*Белгородский государственный технологический университет
имени В.Г. Шухова*

Рассмотрена конструкция автомобильной техники. Установлена значимость подшипниковых узлов для надежности и долговечности автомобилей. Представлены различные типы подшипников и их конструктивные преимущества. Дано обоснование разработки методики расчета ресурса и технологии замены подшипников при модернизации узлов трения автомобильной техники.

Ключевые слова: автомобиль, надежность, подшипник, преимущество, модернизация, ресурс.

Автомобильная техника различного назначения является незаменимым помощником в различных отраслях хозяйства. Это машины, предназначенные не только для перевозки пассажиров и грузов, но и обеспечивающие подъем груза, удержания его на заданной высоте, перемещения и опускания в нужную точку, таковыми являются автомобильные краны, также на базе автомобилей выпускаются специальные машины для коммунальных, строительных, дорожных и прочих служб. Главным преимуществом автомобильного транспорта является его способность работать на рассредоточенных объектах.

Учитывая их значение следует больше внимания уделять качеству конструкции, надежности при различных условиях эксплуатации, которые в настоящее время недостаточны для большинства изделий, производимых и эксплуатируемых в России. Отказы в работе автомобильного транспорта возникают чаще, в результате недостаточной износостойкости узлов трения. Вредные факторы окружающей среды, негативно воздействуют на их работоспособность, в частности, из-за проникновения в места соединения сборочных единиц, через не герметичные соединения: воды, грязи, песка, гравия и других абразивных частиц машины часто простаивают, поскольку требуется дополнительное техобслуживание или ремонта. Известно, что на ремонт машин и механизмов ежегодно расходуются очень большие сред-

ства, из которых 85 % приходится на замену подшипниковых узлов трения.

Рабочие элементы специальных машин на базе автомобиля подвергаются воздействию больших нагрузок, вибраций и случайных ударных нагрузок. В качестве приводного механизма используются гидравлический цилиндр (см. рис. 1) с шарнирными подшипниками. В подвижном соединении шарнирные подшипники работают при взаимном перемещении одного кольца относительно другого, как правило, в режиме качения, при этом допускается небольшой угол перекоса. В неподвижном соединении они работают при периодических единичных сдвигах одного кольца относительно другого и предназначены, главным образом, для компенсации соединительных зазоров. Шарнирные подшипники скольжения состоят из внутреннего кольца с наружной сферической рабочей поверхностью, которое установлено внутри наружного кольца имеющую сферическую внутреннюю поверхность, благодаря чему подшипник должен нести наряду с радиальными довольно значительные осевые нагрузки в обоих направлениях и компенсировать незначительные перекосы.



Рисунок 1 - Гидравлический цилиндр с шарнирными подшипниками

Смазка является одним из основных условий долговечной работы подшипника и обеспечивает: низкое трение, разделение подвижных частей, теплоотвод, защиту от вредного воздействия окружающей среды.

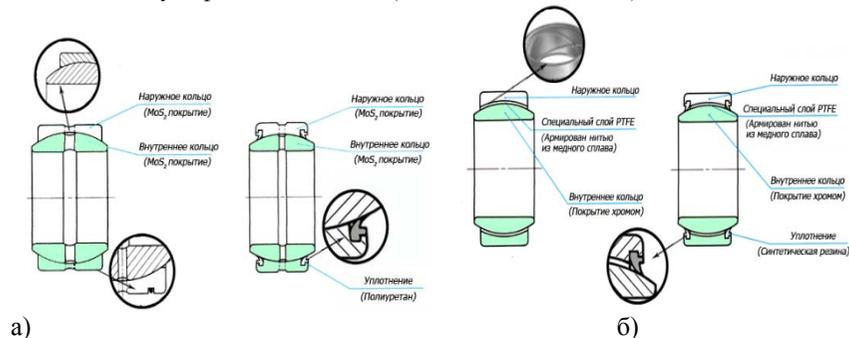
Одним из направлений обеспечения надежности узлов трения машины является использование различных сочетаний поверхностей скольжения: сталь/сталь и самосмазывающиеся (без внешней смазки).

Среди основных преимуществ выделяют:

- компактность;
- бесшумность;
- возможность воспринимать значительные нагрузки;
- высокая демпфирующая способность при воздействии циклических и ударных нагрузок;
- долговечность таких подшипников не зависит от скорости вращения (в отличие от подшипников качения, долговечность которых снижается пропорционально повышению частоты вращения);
- возможность компенсировать несоосность вала и корпуса;

- позволяют повысить надежность легковесных конструкций;
- позволяют использовать недорогие сварные конструкции в связи с разумным разнообразием производственных допусков...

Большое внимание конструкторов завоевали шарнирные подшипники скольжения с поверхностью скольжения типа "сталь-сталь" (см. рис. 2а-б). Кольца этих подшипников изготавливаются из высокоуглеродистой хромистой стали, подверженной специальной обработке (фосфатизации), поверхности скольжения которых покрыты дисульфидом молибдена (MoS_2), что дает снижение контактного трения, высокую сопротивляемость износу и ударным нагрузкам. Эти подшипники требуют дополнительной смазки с добавкой дисульфида молибдена (смазки для ШРУСов).



а) Рисунок 2 - Шарнирные подшипники скольжения с поверхностью скольжения типа "сталь-сталь"

В подшипниках с внутренним диаметром более 12 мм для облегчения подачи смазки к поверхностям скольжения в наружном кольце имеются смазочные канавки и отверстия.

Для работы в загрязненной среде выпускается вариант с пылезащитными уплотнениями. Следует также обратить внимание на самосмазывающиеся шарнирные подшипники скольжения (см. рис. 3б)

Данные подшипники рекомендованы к использованию, в тех случаях, если подача дополнительной смазки затруднена или не предусмотрена, что позволяет сервисное обслуживание выполнять значительно реже. Внутренняя поверхность наружного кольца покрыта слоем PTFE (тефлонового) материала армированного специальной нитью из медного сплава. Внутреннее кольцо изготовлено из высокоуглеродистой подшипниковой стали, а поверхность скольжения покрыта твердым хромом. При этом ползучая деформация и давление на смазочный слой под сжимающими силами невелика, а сопротивление износу высоко. Для этих подшипников обычно не требуется дополнительное смазывание, однако в случае, если срок службы подшипников большой, то возможна закладка дополнительной смазки. Для работы в загрязненной среде выпускается вариант с пылезащитными уплотнениями.

Несмотря на имеющийся широкий спектр типов подшипников, и уже их используемые производителями новых моделях еще остается достаточное количество автомобильного транспорта в узлы которых можно устанавливать надежные и долговечные подшипники нового поколения.

Следует отметить, что данные модернизации следует проводить с научно-теоретическим обоснованием данных замен с разработкой методик перерасчета ресурса узлов и пересмотра программ проведения сервисных воздействий.

Список литературы

1. Глаголев С.Н. Методика комплексной оценки качества сервисных услуг автомобильного транспорта на примере Белгородского региона / С.Н. Глаголев, А.А. Конев // Автотранспортное предприятие. – 2013. – №8. – С. 45-49.
2. Глаголев С.Н. Формирование придорожных сервисных комплексов как компонента транспортно-логистического кластера в общей системе инновационного развития региона / С.Н. Глаголев, Н.С. Севрюгина, Н.В. Козлова, А.А. Конев // Автотранспортное предприятие. - 2012.- №11. С.42-44.
3. Глаголев С.Н. Эффективность функционирования системы «владелец-автомобиль-сервис» как результат выбора ее акцентируемой компоненты / С.Н. Глаголев, Н.С. Севрюгина // Автомобильная промышленность. - 2012.- №6. С.10-11.
4. Глаголев С.Н. Эффективность функционирования системы «владелец-автомобиль-сервис» как результат выбора ее акцентируемой компоненты /С.Н. Глаголев, Н.С. Севрюгина // Автомобильная промышленность. 2012. № 6. С. 10-11.
5. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. М.: Машиностроение, 1976. - 151 с.
6. Севрюгина Н.С. Модернизация строительных и дорожных машин как фактор реализации целевых установок / Н.С. Севрюгина Н.С.// Строительные и дорожные машины. 2007. № 7. С. 28-29.
7. Севрюгина Н.С. ресурсная модернизация самоходных машин / Н.С. Севрюгина, А.А. Божанов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2006. № 1-2. С. 77-80.
8. Фоменко Ю.В. К вопросу о перспективах развития придорожного сервиса автомобильного транспорта / Ю.В. Фоменко, Н.С. Севрюгина, А.А. Ширшов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 3. С. 254-256.
9. Фоменко Ю.В. Транспортная логистика как эффективно функционирование и развитие деятельности предприятий строительной отрасли /Ю.В. Фоменко, Н.С. Севрюгина, А.Л. Веретнов// В сборнике: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов сборник докладов (XIX научные чтения). 2010. С. 263-265.
10. Подшипник RU-URL:<http://www.podshipnik.ru>
11. NTN SNR- RU. URL:http://www.snr.com.ru/index_production.htm

БУТСТРЕП ПОДХОД МОДИФИКАЦИИ ВЫБОРКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И АССИМПТОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Добровольский И.И., Щекина Е.Н., аспиранты
Юго-Западный государственный университет, Россия*

В работе рассматриваются результаты вычислительного эксперимента применения искусственных нейронных сетей при анализе медицинской информации для решения вопросов прогнозирования и диагностики в условиях обучающих выборок небольшого объема. Предлагаются различные варианты применения бутстреп подхода для увеличения объема выборки. Приведен алгоритм применения предлагаемыми авторами асимптотического моделирования с помощью искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, бутстреп подход, формирование выборок требуемого объема, медицинская диагностика.

В настоящее время разработаны различные пакеты прикладных программ, позволяющие настраивать искусственные нейронные сети различной конфигурации, в том числе в медицинских задачах [3].

Основная проблема, которая возникает в данном случае, - это необходимость для обеспечения хорошей точности применять данные значительных объемов, в то время как зачастую объем выборки, отражающей динамику биомедицинских показателей недостаточен.

В связи с этим предлагается использовать бутстреп подход увеличения объема выборки или другие подходы искусственного увеличения объема [4].

Дополнительные значения могут быть получены двумя способами: в первом - они генерируются случайным образом по нормальному закону распределения «вокруг» каждого узла интерполяции, принимая за дисперсию $1/3$ ошибки округления исходных данных - назовем их «бутстреп значениями узлов»; во втором, - значения генерируются равномерно между узлами интерполяции с использованием того или иного интерполяционного многочлена). (Второй случай назовем, соответственно, методом «бутстреп значений интервалов»)

В процессе исследований авторами были проведены вычислительные эксперименты с различными вариантами вычисления бутстреп значений, типов нейронных сетей, статистическими мощностями обучающих выборок. В качестве критерия использовалась относительная ошибка прогноза на экзаменационной выборке, не имеющей общих интерполяционных узлов с обучающей.

Вначале вычислительного эксперимента были построены прогнозы кубическими сплайнами и вычислены относительные ошибки экстраполяции: прогностическая ошибка в этом случае колебалась от 1% до 330% (в

среднем - 63%), что, безусловно, не может быть приемлемым даже для поверхностного анализа. Затем, использовались линейные искусственные нейронные сети - прогностическая ошибка снизилась до уровня 10-15% (применение аппаратов более сложных нейронных сетей существенного улучшения не дало).

Далее исследовалось, каким образом на качество обучения нейронной сети влияет применение метода бутстреп значений. Вычислительный эксперимент в случае «латентных значений узлов» на примере линейной НС в среде MATLAB позволил построить следующий график зависимости точности экстраполяции S от соотношения статистической мощности обучающей выборки к первоначальной - N - представлен на Рисунке 1. Линейная структура НС, поскольку линейный искусственный нейрон по сути является простейшим элементом построения более сложных НС (за исключением используемых генетические алгоритмы обучения или фузификацию и дефузификацию нечеткими множествами). Хорошо видно, что после увеличения первоначального объема выборки в 10 и более раз точность прогноза стабилизируется (причем, при первоначальном объеме более 50 значений применение бутстреп значений в данном случае нецелесообразно).

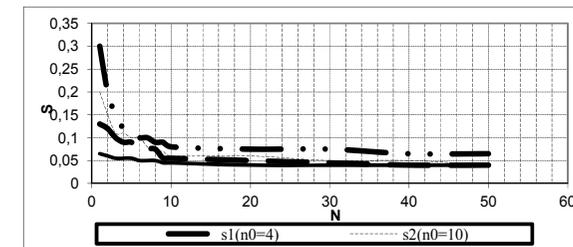


Рисунок 1 - Поведение ошибки экстраполяции НС с использованием метода бутстреп значений узлов

Вычислительный эксперимент в случае использования метода «бутстреп значений интервалов» показал следующее - см. рисунок 2. (использовалась линейная ИНС).

Хорошо заметно, что ошибка экстраполяции с ростом количества латентных значений стабилизируется (в области 3%) для рассматриваемого случая после 20 и несколько меньше чем в предыдущем случае.

В процессе изменения значений функции (в общем смысле функционала) иногда есть смысл математическую модель ее поведения (построенную с целью дальнейшего прогноза или исследования) рассматривать как совокупность нескольких математических моделей идентифицированных для различных кластеров аргументов в общем случае и не имеющих общих «границ» (точек разрыва). Этот подход особенно оказывается приемлемым при анализе процессов в живых системах, имеющих множество устойчивых состояний (или аттракторов).



Рисунок 2 - Поведение ошибки экстраполяции НС с использованием метода бутстреп значений интервалов

В связи с этим, предлагается следующий алгоритм асимптотического моделирования:

- П.1 Определяются множества функций и аргументов;
- П.2 Осуществляется кластеризация (с «учителем» или автоматически) множества аргументов X. (Простейший случай – деление на интервальные области);
- П.3. Осуществляется кластеризация (с «учителем» или автоматически) множества функций Y.
- П.4. Определяются или задаются отношения между полученными в п.2 и п.3 кластерами X и Y;
- П.5 Для каждого отношения и граничного условия идентифицируется НС.
- П.6 Составляется общая асимптотическая НС для (классификации или прогноза) – назовем ее АсНС.

П.7 На контрольной выборке определяется качество АсНС, и если оно не удовлетворяет требуемому в смысле определенного критерия, то переходим к п.2, сменив критерий (в общей случае, способ) кластеризации.

В последующей классификации или экстраполяции вначале осуществляется процесс соотнесения зарегистрированного X к определенному классу (интервалу) или «границе», а затем применяется имитационное моделирование соответствующей данному классу ИНС. Блок-схема рассмотренного алгоритма представлена на Рисунке 3.

Таким образом, асимптотическая искусственная нейронная сеть, в общем виде, выглядит следующим образом:

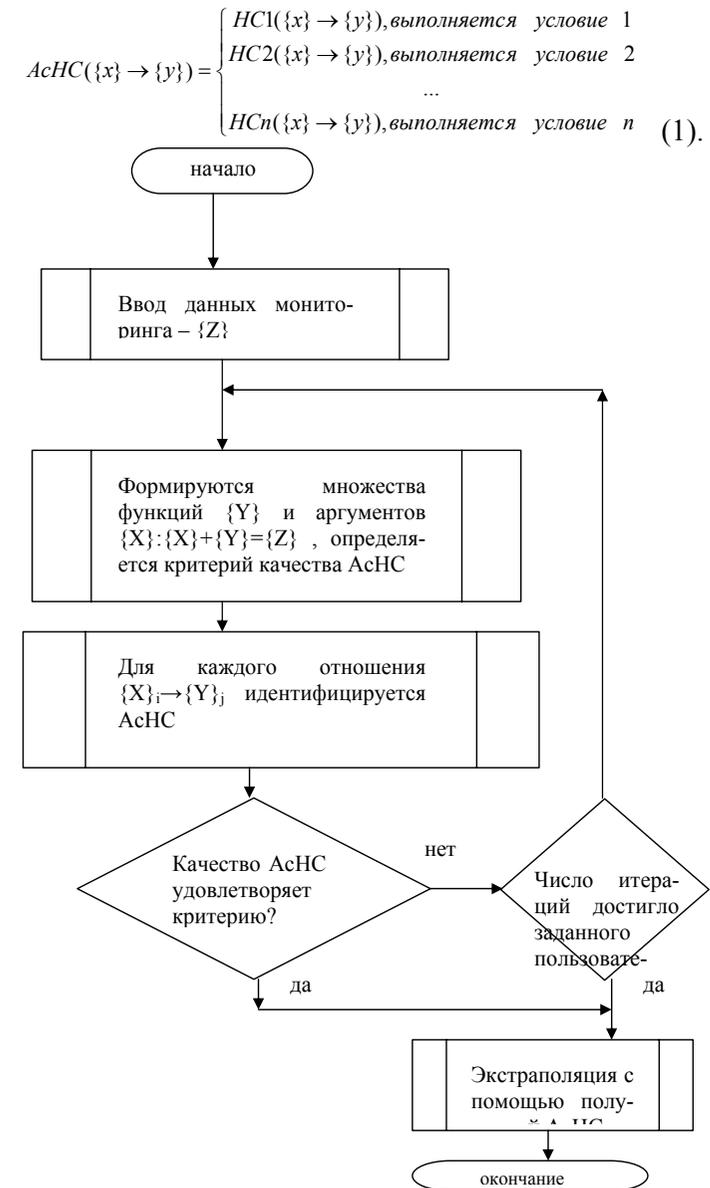


Рисунок 3 - Укрупненная блок-схема синтеза асимптотической НС

Применение предлагаемого алгоритма позволяет:

- повысить точность моделирования за счет существенного упрощения алгоритмов и вида синтезируемых «частных» НС для различных кластеров;

- использовать в составе АсНС не только нейронные сети, но и другие модели, более адекватные в определенных отношениях между кластерами X и Y.

Таким образом, предлагаемые бутстреп подходы позволяют использовать ИНС в задачах медицинской диагностики как для непосредственного прогнозирования в пространстве состояний – например, с применением алгоритма отклонения от номинальных значений [2] или решения интерполяционного прогнозирования значений различных медицинских показателей (включая временные тренды и логические переменные), так и для формирования множества информативных показателей, на основе рангового селекционного алгоритма, рассмотренного в работе [1].

Список литературы

1. Артеменко М.В., Калугина Н.М., Шуткин А.Н. Формирование множества информативных показателей на основании аппроксимирующего полинома Колмогорова-Габора и максимального градиента функциональных различий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2016, № 1 (18). стр. 116-123.

2. Смирнов В.С., Артеменко Н.М., Колоткова С.В. Диагностический алгоритм на основе учета отклонений от номинального состояния клиента // В сборнике: Молодежь и XXI век – 2012, материалы IV Международной молодежной научной конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2012. С. 43-45.

3. Тархов Д.А. Нейросетевые модели и алгоритмы. Справочник –М.: Радиотехника, 2014. – 350 с.

4. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. Сб. статей. Пер. с англ. 1988. 264 с

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Дунаева Анна Андреевна, студент

Насад Татьяна Геннадьевна, д.т.н., профессор

Энгельсский технологический институт СГТУ им. Гагарина Ю.А.

В статье представлены различные способы интенсификации обработки титана и сплавов на его основе, анализируются наиболее важные параметры процесса, влияющие на формирование качества поверхности деталей.

Титан и твердые сплавы на его основе все чаще используют при производстве авиационной и ракетной техники (каркасные детали, детали реактивных двигателей, диски и лопатки компрессоров, детали воздухозаборника, детали корпусов ракетных двигателей второй и третьей ступени), в

химическом и нефтегазовом машиностроении, судостроении, и других отраслях промышленности. Титан приобретает все большую популярность из-за небольшой плотности, высокой удельной прочности, теплостойкости и хорошей сопротивляемости коррозии. Из-за значительной прочности титана его обработка сопряжена с высокими силами резания и сильной вибрацией, снижающей стойкость режущего инструмента. Из-за значительных усилий, сопровождающих механообработку, в зоне резания возникают высокие температуры, требующие дополнительного охлаждения. Наибольшее влияние на температуру оказывает скорость резания, влияние усилия подачи и глубины резания - незначительное. Высокий показатель вязкости титана приводит к тому, что при обработке металл может налипать на режущую кромку, и вызывать образование наростов. Титановая стружка может воспламениться, что требует применения низких скоростей резания и препятствует повышению производительности обработки. К характерным особенностям изделий из титана также относится их способность окисляться под воздействием высокой температуры, возникающей во время обработки и изменять свои эксплуатационные характеристики.

Решение этих проблем возможно при использовании соответствующих новых подходов, методов и технологий. Ионная имплантация является одним из эффективных методов повышения стойкости режущего инструмента. Ионная имплантация - это специальный процесс, характеризующийся тем, что практически любой элемент может быть внедрен в приповерхностную область любого твердого тела, называемого мишенью. При этом мишень должна быть помещена в вакуумную камеру для осуществления внедрения посредством пучка высокоскоростных ионов с энергией до нескольких мегаэлектронвольт. Глубина внедрения в материал мишени обычно варьируется от 0,01 до 1 мкм, формируя в ней особое структурно-фазовое состояние. Толщина слоя определяется энергией и зависимостью массы ионов от массы атомов мишени.

Имплантация при средних энергиях так же получила широкое применение в промышленности. Высокоэнергетическая имплантация, зачастую, является экономически невыгодной и требует применения дорогостоящего оборудования. Подобный способ ионной имплантации использовался в работе [1]. Авторами проведены исследования изменения микротвердости сплава ВК6, который подвергался имплантации ионами бора, азота, углерода, фосфора и аргона (энергия 50 кэВ). Наилучшие результаты показало имплантирование ионами азота. Применение бора и углерода привело лишь к небольшому приросту микротвердости. Данные показатели были получены при имплантировании при комнатной температуре. Отжиг в вакууме при температуре 500-600⁰С привел к одинаковому увеличению микротвердости для ионов углерода, азота и бора.

Влияние имплантации при средних энергиях на различные характеристики деталей, штампового и режущего инструментов представлено в работе [2]. Процесс осуществлялся в частотно-импульсном режиме с энерги-

ей 60-100 кэВ. В зависимости от условий работы и материала изделий выбирались основные режимы обработки. Результатом данной работы было увеличение ресурса работы деталей (штампов, сверл, метчиков) в 2...10 раз.

Также, в работах [1,2] приведены данные по упрочнению твердых сплавов ионами низких энергий. Для данного эксперимента были использованы токарные резцы, оснащенные пластинами из сплавов BK8, T15K10 и T16K6. Имплантация производилась ионами гелия и аргона с энергией 400 эВ.

По результатам эксперимента авторы сделали вывод, что стойкость имплантированных пластин увеличилась примерно в 2,5-5 раз.

Кроме непрерывных и слаботочных пучков, существует еще один метод улучшения эксплуатационных характеристик твердых сплавов – мощные ионные пучки.

Имплантация мощными ионными пучками также показала хорошие результаты. Для исследования были выбраны твердосплавные пластины BK6 и BK8, обработанные пучком, содержащим 70 % ионов углерода и 30% ионов водорода с плотностью энергии $1,6 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{имп}^{-1}$. Выявлены режимы обработки, при которых достигаются наилучшие результаты.

В Энгельском технологическом институте СГТУ имени Гагарина Ю.А. были разработаны методы повышения эффективности обработки титана и его сплавов на базе высокоскоростной обработки (ВСО) с дополнительными потоками энергии в зоне резания, а также с использованием низкотемпературного охлаждения поверхности заготовки. Доказано [3], что дополнительный нагрев в сочетании с ВСО дает очень хорошие результаты, как по производительности, так и по качеству обрабатываемой поверхности. Основной задачей эффективной обработки титана является достижение оптимальных температур в зоне резания на базе разработанной теплофизической модели и выбор соответствующей геометрии и материала режущего инструмента.

Применение предварительного охлаждения заготовки до определенных температур также способствует повышению производительности и качества обработки деталей из титановых сплавов [4].

Таким образом, интенсификация режимов резания при обработке титана возможна с использованием соответствующих технологий, гибридных методов обработки с соблюдением температурного режима нагрева или охлаждения, а также применением соответствующих способов повышения стойкости режущего инструмента.

Список литературы

1. Валяев А. Н. Модификация свойств материалов и синтез тонких пленок при облучении интенсивными электронными и ионными пучками / А.Н. Валяев, А.Д. Погребняк, Н. Кишимото, А.С. Ладыев. // ВКТУ. Усть-Каменогорск.-2000. - 345 с.

2. Резников Л. А. / Повышение эксплуатационных характеристик деталей машин и металлорежущего инструмента методом ионной имплантации / Резников Л. А., Резникова Н. П., Савватимова И. Б.: Обзор. информ. Тольятти, - 1990. - 67 с.

3. Насад, Т.Г. Высокоскоростная обработка с тепловым воздействием : монография / Насад Т.Г. - Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. - 108 с. (6,75 печ. л.). - ISBN 978-5-7433-1822-3

4. Насад, Т.Г. Высокоэффективные методы обработки титана для буровых установок нефтегазовой промышленности / Насад Т.Г., Кочетков А.В. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2016. - № 4. - С. 3-5.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХРУПКОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК ОТ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Евсеев Евгений Юрьевич, аспирант

Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия

(e-mail: zhenja-evseev@mail.ru)

Хрупкая прочность - понятие, с которым связывается представление о свойстве пластичных металлов, обладающих значительным сопротивлением сдвигу, при известных условиях разрушаться хрупко даже при простом растяжении

При изучении влияния прерывистости процесса резания на стойкость твердосплавного инструмента [6,7,8] были проведены эксперименты на строгальном станке по строганию заготовок из серого чугуна длиной 250 мм с разной геометрией срезаемого слоя. Эксперименты показали, что условия врезания инструмента в заготовку имеют существенное влияние на его стойкость. Плавное увеличение глубины резания не вызывает разрушения инструмента в виде сколов и выкрашивании режущей кромки. Наоборот, максимальная глубина резания и, соответственно, ударная нагрузка в начальный момент резания приводят к резкому сокращению длительности работы инструмента. После определенного числа циклов резания режущая кромка инструмента выкрашивается и скалывается, сокращая период его нормального износа. При этом такое разрушение инструмента носит вероятностный характер, т.к. разброс стойкости инструментов, обрабатывающих заготовку с максимальной глубиной резания при врезании, составил от 600 до 1410 с.

Учитывая, что длительность резания при одном проходе инструмента не превышала 0,42 с и температура резания не могла повлиять на результаты стойкостных испытаний строгальных резцов, автор статьи делает вывод о преимущественном влиянии ударной нагрузки на хрупкую прочность инструмента. Для подтверждения этого вывода были проведены дополнительные исследования, с целью установить степень влияния термических условий резания на «хрупкую» стойкость инструментов. В ходе экспериментов обеспечивались одинаковые условия резания при точении и строгании чугунных образцов из СЧ18 инструментами, оснащенными пластинками из твердого сплава BK8. Результаты экспериментов показали, что

стойкость токарных резцов на много превосходит стойкость строгальных резцов. При этом рассеяние величины стойкости незначительное. Стойкость строгальных резцов на порядок ниже. При этом наблюдается значительное колебание в величине стойкости от 400 до 1150 с. Таким образом, автор убедительно доказал влияние условий врезания и прежде всего ударного нагружения на стойкость инструмента.

Вместе с тем, следует отметить следующее. В реальном процессе резания действие ударных нагрузок на режущую кромку в момент врезания сопровождается большими термическими нагрузками в ходе обработки поверхности детали. При этом длительность процесса обработки какой-либо поверхности на практике намного превышает длительность рабочего цикла в рассматриваемых экспериментах. Учитывая специфические свойства труднообрабатываемых сталей и сплавов, вызывающих в процессе резания высокие температуры - свыше 1273° К, необходимо учитывать и термические напряжения в твердом сплаве и их влияние на хрупкую прочность инструментов и протяжек в том числе. Поэтому говорить о преимущественном влиянии ударных условий врезания на стойкость инструмента, по нашему мнению, не совсем обоснованно. К тому же, условия выхода инструментов из зоны резания в экспериментах были, очевидно, не совсем одинаковы, как это утверждает автор.

При точении толщина срезаемого слоя при окончании процесса плавно уменьшается до нуля. При строгании толщина срезаемого слоя на всем протяжении процесса резания от начала до конца обработки остается постоянной величиной. Попытка устранить влияние условия выхода инструмента на его хрупкую прочность при строгании за счет уменьшения глубины резания путем создания фаски на выходном торце заготовки не совсем корректна. Видимо, автор не учел разное влияние на температуру резания глубины резания и толщины срезаемого слоя. Как известно [1, 2 и др.], на температуру резания большее влияние оказывает толщина сечения срезаемого слоя, чем глубина резания. Поэтому уменьшение температуры при окончании процесса резания в экспериментах было не одинаковым.

Выводы рассмотренных работ противоречат выводам другой группы исследователей, которые доказывают термоциклический характер хрупкого разрушения твердого сплава [3, 4 и др.]. «Согласно ... исследованиям физическая сущность влияния перерывов в процессе резания на стойкость инструмента заключается не в ударном воздействии обрабатываемого материала на режущую кромку инструмента, а в термическом цикле. Было установлено, что основной причиной возникновения трещин и снижения стойкости твердосплавного инструмента при прерывистом резании является циклическое охлаждение режущей кромки при холостом пробеге.

В период резания поверхностные контактные слои нагреваются до более высокой температуры, чем глубинные слои. При этом из-за разности температурных деформаций в поверхностных слоях возникают напряжения сжатия. В период холостого пробега поверхностные слои инструмента ин-

тенсивно охлаждаются, и их температура становится ниже температуры глубинных слоев, а в поверхностных слоях возникают напряжения растяжения.

Следовательно, чем сильнее охлаждается инструмент при холостом пробеге, чем более значительны по величине растягивающие напряжения в его поверхностных слоях, тем более интенсивно возникают и развиваются трещины на режущей кромке и стойкость инструмента в ряде случаев падает» [3, стр. 220]. Таким образом, как видно из приведенной выдержки, автор видит причину в образовании микротрещин и возможного выкрашивания кромок инструмента именно в термическом цикле, не беря во внимание ударные условия нагружения инструмента во время врезания.

Т.Н. Лоладзе, не отрицая действия термического цикла на работоспособность инструмента и учитывая суммирование сжимающих механических и термических напряжений в процессе резания, тем не менее, считает, что «... абсолютная величина термических напряжений сжатия по сравнению с механическими нагружающими напряжениями имеет относительно малую величину» [4, стр. 82]. Следовательно, как считает Т.Н. Лоладзе, если суммарные напряжения не превышают предел прочности, то инструмент может работать достаточно долго, при условии отсутствия других напряжений, вызванных охлаждением инструмента во время его холостого хода. Если во время холостого хода инструмента происходит его интенсивное охлаждение, то в поверхностных слоях возникают растягивающие напряжения, величина которых может превысить допустимую величину, следствием чего являются трещины на режущей кромке и возможные поломки всего инструмента. Такая картина достаточно часто наблюдается при фрезеровании твердосплавными фрезами [4, стр. 83].

Сопоставив выводы М.М. Симоняна [8] и авторов работ [2, 4] можно сделать следующее заключение. При отсутствии высоких температур при резании, которое и было фактически в работе М.М. Симоняна, главной причиной хрупкого разрушения кромки является ударная нагрузка, действующая в начальный момент резания. При обработке материалов, в процессе резания которых возникают большие температуры, преобладающей причиной выкрашивания режущих кромок является термоциклическая нагрузка, вызванная периодическим нагреванием и остыванием передней поверхности инструмента. При этом значение условий входа и выхода из зоны резания инструмента не снижается, добавляя в общую картину износа инструмента свои составляющие, которые в некоторых случаях могут и превышать воздействие термических напряжений. Об этом говорит и Т.Н. Лоладзе [4, стр. 83], анализируя причины чрезвычайно низкой стойкости фрез по сравнению с резцами. «С учетом особенностей явлений, развивающихся при выходе инструмента из контакта, можно объяснить тот факт, что при заданном критерии износа по задней поверхности и при прочих равных условиях обработки стойкость инструмента и путь резания при фрезеровании на один или два порядка ниже по сравнению точением.

Суммарное действие высоких нагружающих и термических напряжений в момент выхода инструмента из контакта при фрезеровании вызывает периодическое выкрашивание или срез тонких слоев материала режущего инструмента, тогда как при точении это явление не наблюдается вследствие плавного уменьшения толщины и, следовательно, нагружающих напряжений в момент выхода инструмента из контакта».

Список литературы

1. Бобров, В.Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / В.Ф. Бобров. М.: Машиностроение, 1975. 225 с.
2. Гречишников, В.А. Основы научных исследований в области проектирования и эксплуатации режущего инструмента [Текст] / В.А. Гречишников, Н.В. Колесов, Е.В. Козлов. М.: Мосстанкин, 1990. 56 с.
3. Е Му-Цзен Экспериментально-теоретическое исследование прочности протяжек с учетом концентрации внутренних напряжений [Текст] дис. канд. техн. наук : / Е Му-Цзен : М.: 1960
4. Лоладзе, Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т.Н. Лоладзе.: Машиностроение, 1982. 320 с.
5. Мамаев, И.И. Комплексная оптимизация параметров режущего инструмента [Текст] / И.И. Мамаев // Станки и инструмент, 1991. № 2. С. 11-12.
6. Мамаев, И.И. Проектирование протяжек для обработки отверстий с помощью ЭВМ [Текст] / И.И. Мамаев // Станки и инструмент, 1984. № 10. С. 8-10.
7. Манохин, Ю.И. Проектирование протяжек с применением ЭВМ [Текст] / Ю.И. Манохин, А.А. Пога. Кемерово: КузПИ, 1983. 78 с.
8. Симонян, М. М. О влиянии некоторых факторов на стойкость твердосплавных инструментов при прерывистом резании [Текст] / М. М. Симонян // Вестник машиностроения. 2004. № 11. С. 44-46. Библиогр.: с. 46 (4 назв.)
9. Селезнев, Ю.Н. Установление зависимости удельных сил резания от подачи на зуб при протягивании отверстий в изделиях из стали. 8-я Международная научно-техническая конференция «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве», 2003 г. [Текст] / Ю.Н. Селезнев, А.С. Рухлин. Харьков, 2003. С. 104-106.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДОЛОТ СЕЯЛОК

Епсилова Ирина Андреевна, инженер-менеджер по качеству

Болукова Марина Андреевна, магистрант

Владимирский государственный университет

имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Рассмотрены вопросы совершенствования реализации технологии упрочнения долот сеялки DMC-9000 фирмы Amazone способом скоростного ТВЧ-борирования на основе метода бережливого производства.

Наиболее распространенным типом рабочего органа посевных и почвообрабатывающих машин является долото. Износ рабочих долот сошников приводит к ухудшению технических и технологических характеристик машин и, как следствие, к снижению качества почвообрабатывающих работ и урожайности.

Известные способы упрочнения долот сводятся к специальной термической или химико-термической обработке, которые не влияют на качество установки твердосплавной пластины и обеспечивают повышение работоспособности упрочненного рабочего органа. В данной работе рассматриваются вопросы реализации технологии упрочнения долота способом скоростного ТВЧ-борирования, разработанной в ГОСНИТИ г.Москва [1]. Скоростное ТВЧ-борирование долот осуществляется при ТВЧ-нагреве и выдержке на поверхности стальной детали в течении короткого интервал времени и при оптимальной температуре порошковой смеси (шихты) на основе карбида бора. Для осуществления упрочнения зон долота способом скоростного ТВЧ-борирования на них наносят предварительно подготовленные графит и шихту BK-15NC, помещают заготовку в индуктор ТВЧ. Термообработка долот производится при ТВЧ-нагреве (200-220 кГц) упрочняемых зон до температуры 750-800 °С в течение 0,5 -1 мин при последующей закалке в солевом растворе. Образующееся при ТВЧ-борировании упрочняющее покрытие представляет собой композиционный металлокерамический материал. Контроль качества упрочнения осуществляется внешним осмотром и путем измерения твердости упрочняющего покрытия.

Показатели, характеризующие затраты времени на упрочнение комплекта долот сеялки Primera DMC-9000 в количестве 48 штук при последовательной обработке деталей, приведены в таблице 1. Анализ приведенных данных показывает, что время цикла упрочнения партии долот в количестве 48 штук при их последовательной обработке не является оптимальным, так как занимает 10,5 час. Данное обстоятельство не позволяет обработать комплект долот в течение рабочей смены, что приводит к прерыванию обработки партии. Это, с одной стороны, увеличивает общую продолжительность обработки комплекта долот, а с другой стороны, к возможному увеличению разброса параметров упрочненных деталей вследствие прерывания режимов настройки оборудования.

Таблица 1 - Продолжительность упрочнения комплекта долот сеялки Primera DMC-9000 при последовательной и групповой обработке

Показатели	Значение показателей при последовательной обработке деталей	Значение показателей при групповой обработке деталей и совмещении операций
Суммарный объем партии деталей	48 шт	48 шт
Продолжительность упрочнения одной детали	13,5мин	
Время цикла упрочнения партии деталей из 48 шт	13мин x 48 = 624мин (10,4час)	Для 4 групп деталей по 12 шт 318 мин (5,3 час) (смотри рисунок 1)

Следует отметить, что реализация рассматриваемой технологии упрочнения требует применения дорогостоящего оборудования, стоимость которого составляет порядка 300 - 500 тыс. руб. в зависимости от комплектации, а также наличия подготовленного персонала, обладающего требуемой квалификацией. Для эффективного использования оборудования необходимо обеспечить его максимальную загрузку в течении рабочего времени. Отдельно взятое сельскохозяйственное предприятие, вследствие ограниченного числа почвообрабатывающей техники, не может обеспечить оптимальную годовую производственную загрузку оборудования. Кроме того, на с/х предприятии не имеется в достаточном количестве квалифицированного персонала для выполнения работ по упрочнению и восстановлению деталей, что ограничивает возможности повышения производительности труда. Поэтому технологические участки по упрочнению деталей целесообразно создавать на региональном уровне в специализированном центре ремонта, обеспечивая услугами по упрочнению элементов техники всех заинтересованных сельскохозяйственных товаропроизводителей, что позволит сформировать оптимальную загрузку участка по упрочнению. При этом необходимо повышать производительность обработки изделий с целью снижения производственных издержек, для ограничения стоимости упрочнения изделий на приемлемом уровне для сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Для оптимизации производственных процессов в мировой практике нашли применение принципы бережливого производства, направленные на выявление и снижение всех видов потерь, возникающих в ходе технологического процесса. Рассмотрим пути снижения продолжительности технологического цикла упрочнения партии долот на основе применения метода бережливого производства [2]. Для сокращения лишних перемещений обрабатываемых деталей всю партию из 48 деталей предлагается разделить на четыре группы по 12 деталей в каждой группе и вести обработку деталей по группам, перемещая по технологическим операциям группы обработанных деталей, а не каждую деталь в отдельности. На рисунке 1 приведена диаграмма цикла упрочнения партии 48 шт. долот при совмещении технологических операций. За счет повышения квалификации операторов можно перераспределить выполнение операций упрочнения долот между двумя операторами. Операции 2, 3 и 6 (нанесение графита и шихты, покраска долот) закрепить за одним оператором, а операции 1, 4 и 5 очистка упрочняемой поверхности, закалка долот, контроль качества упрочнения) за вторым. Такое совмещение операций позволит сократить продолжительность цикла упрочнения партии путем совмещения операций обработки долот до 318 мин (см. рисунок 1). Общее время обработки партии из 48 долот составит 5,3час, что значительно меньше, чем при последовательной обработке деталей.

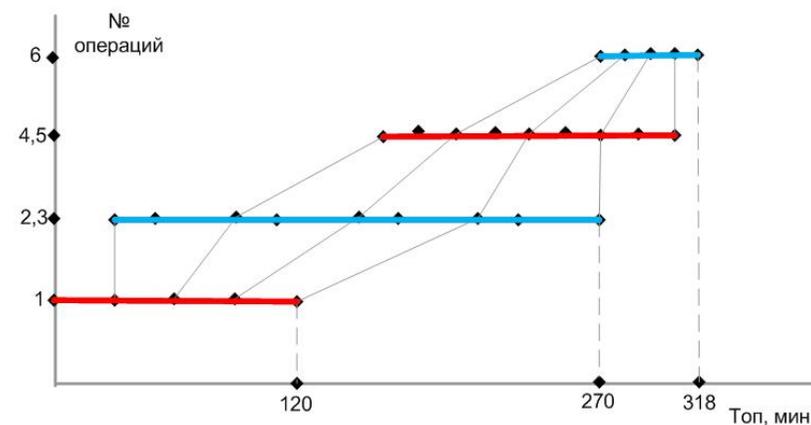


Рисунок 1 - Диаграмма цикла упрочнения партии 48 шт. долот при совмещении технологических операций

Привлечение двух высококвалифицированных операторов оправдано при серийном производстве работ по упрочнению деталей в условиях специализированного центра ремонта. Одновременно достигается снижение риска невыполнения заказа на упрочнение долот в случае временного отсутствия на рабочем месте одного из операторов за счет обеспечения их взаимозаменяемости.

Таким образом, на основе применения метода бережливого производства можно добиться снижения продолжительности цикла процесса упрочнения долот, что особенно важно для организации серийного обслуживания техники по критерию «точно в срок» для обеспечения своевременного выполнения плана проведения сельскохозяйственных работ.

Список литературы

1. Соловьев С.А. Комбинированные упрочняющие покрытия для долот анкерных сошников сеялки Primage DMC-9000/ С.А. Соловьев, В.П.Лялякин, В.Ф. Аулов, А.В. Ишков, Н.Т. Кривочуров, А.В. Соколов, V. Schwamm // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 117. С. 159-167.
2. Болукова И.А., Задорожний Р.Н., Аулов В.Ф. Реализация технологии упрочнения долот сеялки Primage DMC-9000 фирмы Amazone на основе принципов бережлив его производства, Труды ГОСНИТИ. 2015. Том 121. С. 191-196.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ЭКСПЕРТНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ

Ермолаев Денис Витальевич,

канд. экон. наук, доцент кафедры горного дела

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

В статье рассмотрена необходимость модернизации существующей системы управления социально-экономическим развитием

Необходимость внесения корректив в существующие организационные структуры управления экономической и социальной сферой региона на стадии разработки комплекса управленческих решений обусловлено следующими факторами:

1) прогрессирующим ростом самостоятельности регионов и смещение центра тяжести принимаемых решений на региональный и субрегиональный уровень;

2) усилением роли частного капитала во всех отраслях производства и сферы услуг ставит перед необходимостью поиска новых форм взаимодействия с бизнес-сообществом, а также новые механизмы государственного регулирования в целях минимизации негативных последствий разбалансированности региональных рынков;

3) наметившимся отставанием теоретических воззрений от реальной практики управления социально-экономическим развитием территории. Причем последняя всё чаще демонстрирует свою слабую аналитическую проработанность, спонтанность, конъюнктурность и рецидивы командно-административного управления;

4) необходимостью роста жизненного уровня населения региона, выход на новый уровень управления всей социальной сферой.

Анализ системы диагностики эффективности управления экономическим и социальным развитием в Белгородской области выявил две существенные проблемы:

1. методическая проблема – значительный объём рассматриваемых показателей делает процедуры диагностики громоздкими и очень сложными; в тоже время по таким достаточно важным показателям, как инновативность, конкурентоспособность, благоприятствование малому предпринимательству интегральные показатели не рассчитываются;

2. организационно-управленческая проблема – в условиях роста бюрократического аппарата управление последним становится всё более сложной задачей; в работе управленческих структур довольно часто наблюдается параллелизм функций, стремление к недоучету одних показателей и сокрытию других, что ведет к искажению первичной информации.

Управленческие решения принимаются, как свидетельствует практика,

исходя из чрезвычайно громоздкого массива нормативно-правовых актов или из прошлого опыта. Такой научный инструментарий, как комплексные социально-экономические исследования, мониторинговые срезы, экспертный анализ практически не используется.

Среди организационно-управленческих механизмов повышения эффективности управления экономическим и социальным развитием Белгородской области в период рыночных преобразований наиболее продуктивными оказываются следующие:

1) оптимизация организационных структур управления региональных органов власти и местного самоуправления;

2) использование дополнительных аналитических процедур и методик оценки деятельности региональных органов исполнительной власти.

Рассмотрим каждый из выдвигаемых тезисов подробнее.

Одним из направлений, способствующих повышению эффективности управления социально-экономическим развитием региона, является повышение профессионального уровня сотрудников региональных органов власти и управления.

Анализ состояния государственной и муниципальной службы в том или ином регионе является принципиально важным и практически необходимым. Создание компактного по численности и профессионального по своим деловым качествам государственного аппарата в условиях чрезвычайно усложнившихся условий функционирования общества выступает в качестве первоочередной предпосылки устойчивого развития регионального социума.

Два десятилетия рыночных реформ в России и апробация различных моделей в сфере государственного строительства обнаружили серьёзные издержки, прежде всего, в качественном состоянии отечественного государственного аппарата.

Первоначальное уменьшение численности государственных служащих в период с начала 1990-х гг. вследствие распада Советского Союза и демонтажа центральных министерств и ведомств, уже в 1993 г. сменилось быстрым увеличением численности российской бюрократии как результат создания новых и расширения действующих органов государственной власти и управления. Самый значительный годовой прирост государственных служащих пришелся на 1995 г. – около 6%.

В целом, в 1994-2001 гг. численность государственных и муниципальных служащих увеличилось на 15,1%, а общий прирост по всем ветвям власти за этот же период составил 15,8%. Практически 90% всех занятых на государственной и муниципальной службе было сосредоточено в органах исполнительной власти. С 1994 по 2001 гг. их численность возросла с 894 тыс. человек до 1029 тыс. человек, т.е. на 15%. Численность государственных и муниципальных служащих росла неравномерно. Однако, общая тенденция увеличения государственных и муниципальных служащих в период с 1995 по 2003 гг. вполне очевидна.

Однако, любые количественные сопоставления численности российской и советской бюрократии, динамики численности государственных и муниципальных служащих с начала рыночных преобразований страдают рядом методологических проблем.

Во-первых, публикуемые цифры Госкомстата России о численности государственных и муниципальных служащих включают в их состав многочисленную армию сотрудников по обслуживанию зданий, инженеров, программистов, технический персонал, водителей и т.д.

Во-вторых, децентрализация функций государственного управления привела к возрастанию численности регионального чиновничества.

В-третьих, курс на правовое государство и гражданское общество обусловил значительные изменения роли и функций судебной ветви власти (создание арбитражных судов, судов общей юрисдикции, института мировых судей, службы судебных приставов), осуществление регулярных и демократических избирательных процедур, проверка и контроль над бюджетными расходами (счётная палата, федеральное казначейство), регулирование сферы занятости населения (государственная служба занятости населения), антимонопольные службы и т.д.

Ситуация в сфере государственной и муниципальной службы требует прежде всего качественной, а не количественной интерпретации. Представляет интерес рассмотреть кадровый состав российской бюрократии через следующие параметры: пол, возраст, образовательный уровень.

Структура государственных служащих характеризуется отчетливо выраженной гендерной асимметрией. Женщины явно преобладают над мужской частью. Но это характерно для нижних ступеней служебной иерархии, тогда как верхние должности практически в подавляющем большинстве заняты мужчинами. Так, на федеральном уровне 89% высших должностей заняты мужчинами, 86% младших должностей – женщинами. На уровне субъектов Российской Федерации количество мужчин на высших должностях – 72%, женщины же преимущественно представлены на нижних служебных должностях – 88%.

Весьма примечательна статистика возрастного состава государственных и муниципальных служащих. Обращает на себя внимание сохранение значительной прослойки лиц пенсионного возраста, замещающих государственные должности. Возрастная структура федеральных органов власти (почти 70% их сотрудников - старше 40 лет) позволяет предположить, что у большинства за плечами значительная школа советского партийного строительства.

Молодёжь (до 30 лет включительно) преимущественно замещает младшие и старшие должности. Доля молодёжи максимальна на региональном уровне (28%) и минимальна (10%) на федеральном уровне. На муниципальном уровне молодёжь составляет только 14% от общего числа служащих исполнительных органов власти.

Данный перекоп имеет далеко идущие негативные последствия. Неяс-

ность продвижения по службе, невысокий уровень оплаты труда на нижних ступенях карьерной лестницы, делают государственную и муниципальную службу не привлекательной для молодых специалистов, особенно мужчин.

Мировой опыт свидетельствует, что модернизационный рывок возможен только при наличии высокопрофессионального государственного чиновничества. В этом контексте в России сложилась довольно противоречивая ситуация. На государственной и муниципальной службе продолжает сохраняться значительное число работников, не имеющих высшего профессионального образования.

К данному факту необходимо присовокупить то, что значительное число государственных и муниципальных служащих, получивших профессиональную подготовку в области гуманитарных, экономических и юридических наук ещё в советское время, имеют, безусловно, морально устаревшее образование. Наличие же технического или естественного образования может слабо коррелировать с функциональными обязанностями на государственной и муниципальной службе.

Таким образом, наиболее высокий профессионально-образовательный уровень у государственных служащих в органах государственной власти субъектов федерации, меньше всего специалистов с высшим образованием на муниципальных должностях.

Таким образом, как на региональном, так и на муниципальном уровнях качественные параметры государственных и муниципальных служащих с точки зрения профилей профессиональной подготовки отличаются незначительно – отчетливо выраженное преобладание работников с базовой гуманитарной и социально-экономической подготовкой (около 60%).

Эффективное региональное развитие требует создания такой системы управления, которая бы адекватно реагировала на постоянно изменяющиеся предпосылки, условия, факторы, а, главное, обеспечивала регулирующее воздействие на достижение необходимых результатов в процессе функционирования и развития региональной социально-экономической системы. Проведённый анализ практики делового администрирования в Белгородской области в период 2000-2010 гг. позволяет утверждать, что используемые в настоящее время подходы к управлению нуждаются в серьёзных коррективах. Прежде всего, выявляется фактическая оторванность практики управления от передовых научных концепций; принятие решений довольно часто осуществляется не в режиме стратегического управления, а скоростной реакции на меняющуюся ситуацию.

Имеющийся зарубежный опыт, а также анализ эффективности государственного управления (США, Великобритания, Германия, Китай, Франция) показывают наличие положительного эффекта от деятельности специализированных научно-экспертных структур в рамках государственного управления.

На основе анализа зарубежного и передового отечественного опыта на-

ми предлагается создание специальной структуры – Уполномоченной экспертно-аналитической организации, в которую вошли бы специалисты, представляющие вузовскую научную общественность, специалисты-практики, независимые эксперты (рис. 1).

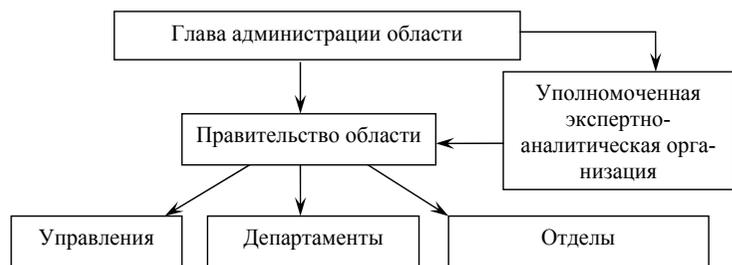


Рисунок 1 – Предлагаемая организационная структура управления (составлено автором)

Организация научно-экспертной поддержки государственного управления регламентируется разработкой соответствующего законопроекта.

В качестве основных целей законопроекта определены следующие:

- 1) создание правовых основ для взаимодействия научно-экспертных организаций и экспертов с органами государственной власти;
- 2) создание конкретных механизмов использования результатов научно-экспертной деятельности в государственном управлении;
- 3) повышение научной обоснованности принимаемых решений в сфере регионального управления.

В качестве инструментов научно-экспертной поддержки государственного управления могут выступать: профессиональная экспертиза – проектов управленческих решений и результатов их реализации; независимая экспертиза проектов управленческих решений и результатов их реализации; создание дискуссионных площадок для профессионального обсуждения важнейших социально-экономических и политических вопросов; общественно-просветительская и образовательная деятельность.

Социально-экономические последствия принятия законопроекта будут заключаться в повышении научной обоснованности деятельности органов государственного управления, обеспечении открытости процесса принятия управленческих решений, повышении общего уровня эффективности регионального менеджмента.

Список литературы

1. Ермолаев Д.В. Повышение эффективности управления социально-экономическим развитием региона на основе выбора приоритетных институциональных преобразований: автореферат дис. ... кандидата экономических наук. – Курск, 2013. – 22 с.
2. Ермолаев Д.В. Стратегические направления регионального социально-экономического развития (на материалах Белгородской области) / Вопросы экономических наук. – 2014. – № 2 (66). – С. 26-27.

3. Ермолаев Д.В. Эффективность управления регионом: российская практика и мировой опыт // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2013. – №5. – С. 267-269.

4. Минакова И.В. Управление социально-экономическим развитием региона: теоретико-методические основы и институциональные ограничения: монография / И.В. Минакова, Д.В. Ермолаев; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012.

5. Першуткин С.Н. Экспертно-социологическая поддержка региональной государственной политики // Проблемы развития территории. – 2014. – № 6 (74). – С. 167-175.

6. Состав работников, замещавших государственные и муниципальные должности, по полу, возрасту, стажу работы, уровню образования на 1 января 2013 г. / Статистический бюллетень. М., 2014. № 4 (78). С. 8.

АНАЛИЗ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО УПОРНОГО СВЕРЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОЧНЫХ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ

Жарковский Илья Александрович, студент

Вологодский государственный университет, г.Вологда, Россия

Разработать металлорежущий инструмент для обработки точных глухих отверстий. Такие отверстия встречаются в ряде конструкций, например отверстие в плите. Такие элементы конструкции встречаются либо в штампах холодного деформирования, либо в конструкции различных приборов, например для контроля параллельности. Диаметры от 15-20 мм. в приборах, в штампах диаметр 40-60 мм. По существующей технологии такие отверстия обрабатываются многократно разными инструментами: одно-два сверла, затем зенкеры, далее необходима развертка, да и то не одна. Так что для обработки таких отверстий необходимо от трех до пяти инструментов. Актуально использовать для такой обработки один инструмент.

В качестве прототипа инструмента выбрано сверло Форстнера, но этот инструмент деревообрабатывающий, принципиально не предназначенный для обработки металлов.

Недостатки:

1. Имеет в центре пирамидку в качестве центрирующего элемента.
2. Имеет сплошные главные лезвия, поэтому при обработке металлов образовалась бы совершенно нетранспортабельная стружка
3. Имеет сплошную цилиндрическую поверхность, которая при обработке металлов создаст огромные силы трения, в том числе из-за несовершенства кинематики, любое отклонение вызывает усиление сил трения.
4. Имеет цилиндрический хвостовик.

Инструмент не пригоден для обработки металлов, но тем не менее использован в качестве прототипа.

В машиностроении существуют достаточно точные инструменты для обработки отверстий, причем с глухим дном. Например, пушечное сверло: - это однокромочный инструмент, второе лезвие отсутствует, в современ-

ном инструменте это дугообразная поверхность, в районе главного лезвия выполнен срез наклонной плоскостью, уменьшающий силы трения для главного лезвия, дальше либо сплошная поверхность, либо имеет обнижения на несколько поясков. Однако инструмент имеет принципиальные недостатки: одно лезвие создает неуравновешенную радиальную силу, которая циркулируя, разбивает отверстие и для обычных сверлильных станков этот инструмент непригоден, хотя позволяет обработать отверстие глухое с плоским дном. Данный инструмент лучше всего использовать совместно со встречным вращательным движением заготовки, т.е. кроме главного движения необходимо движение круговой подачи. У нас такой возможности нет, т.к. мы создаем инструмент для сверлильного станка, поэтому однокромочные сверла непригодны.

При использовании не одного, а двух лезвий возникает принципиальная конструктивная проблема: проблема конструктивного перехода лезвий на ось. В конструкции обычных спиральных сверел проблема решается за счет создания перемычки. Но спиральное сверло, таким образом, принципиально предназначено для обработки отверстий с коническим дном.

Поэтому мы приняли решение в качестве центрирующего элемента для нашего инструмента и для конструктивной развязки главных лезвий использовать центровочное сверло. Центровочное сверло тоже имеет перемычку, но небольшого размера, что принципиально на процесс главного резания не влияет. Этот элемент, правда, создает хвостик в глухом отверстии, но можно поступить таким образом: на начальной стадии инструмент использовать с этим элементом, а потом дорабатывать отверстие уже без него. Это центровочное сверло должно удобно устанавливаться в инструмент. Для этого используется самотормозящий конус. Таким образом, мы выходим на концепцию создаваемого инструмента. 3D-модель инструмента представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 — Модель инструмента

1. Калибрующие зубья выполнены между главной цилиндрической и наклонной поверхностью по отношению к главным лезвиям.

2. Главные лезвия являются продолжением зубьев центровочного сверла.
 3. Главные лезвия рассечены спиральной канавкой. [1]
- Эскиз инструмента приведен на рисунке 2.

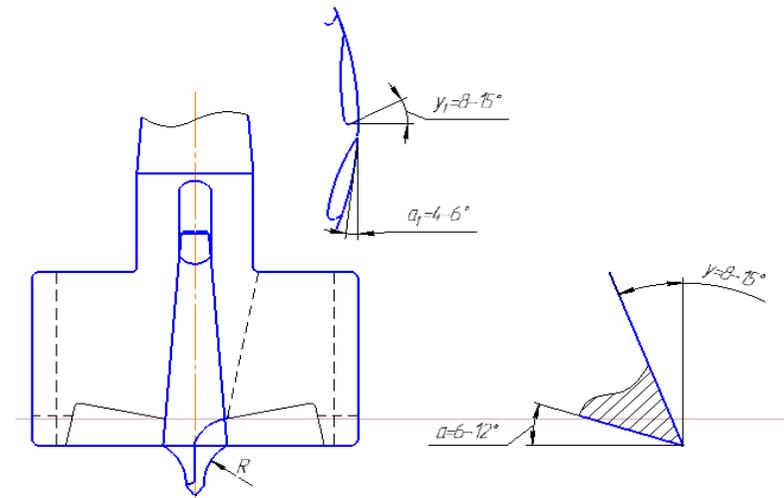


Рисунок 2 - Эскиз инструмента

Все главные лезвия имеют выход в центральное отверстие. Центральное отверстие выполнено в виде самотормозящего конуса и в него установлено центровочное сверло с коническим хвостовиком. В одном инструменте удалось совместить черновую и чистовую обработку. Инструмент позволяет обрабатывать как сквозные, так и глухие отверстия.

Список литературы

1. Жарковский, И. А. Разработка методики проектирования и конструкторско-технологический анализ специального упорного сверла /И. А. Жарковский /Наука и инновации в технических университетах: материалы десятого всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых.-СПб,2016.-С.50-52.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ПРОВОДНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Журавлев Алексей Александрович, к.т.н., доцент

Целюк Дмитрий Иванович, курсант

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

На основе тепловых балансовых соотношений получено уравнение динамики нагрева проводника протекающим электрическим током. Математическая модель нагрева дополнена критериальными соотношениями, которые характеризуют условия конвективного теплообмена нагретого проводника с окружающей воздушной средой.

Длительная эксплуатация силового электрооборудования сопровождается нагревом его токоведущих элементов. В ряде случаев превышение температуры электрических проводников над номинальными значениями может достигать значительных величин, что приводит к их выходу из строя. В этой связи весьма важным является расчет температурного режима работы токоведущих частей силового электрооборудования на основе математических моделей.

Рассмотрим однородный проводник, по которому протекает электрический ток. Количество теплоты, которое выделяется в проводнике за счет прохождения электрического тока, расходуется на нагрев проводника и отведение с поверхности конвекцией (излучением при этом пренебрегаем):

$$I^2 R d\tau = Gcd(t - t_0) + \alpha F(t - t_0) d\tau, \tag{1}$$

где I – сила тока, проходящего по проводнику, А; R – сопротивление проводника, Ом; G – масса проводника, кг; c – удельная теплоемкость материала проводника, Дж/(кг·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); F – площадь поверхности теплообмена проводника, м²; t – температура проводника, °С; t_0 – начальная температура проводника (равна температуре воздуха, окружающего проводник), °С; τ – время, с.

С целью снижения размерности задачи введем новую переменную Θ – перегрев (избыточная температура)

$$\Theta = t - t_0. \tag{2}$$

С учетом этого уравнение теплового баланса электрического проводника в динамике перепишем в виде

$$\frac{d\Theta}{d\tau} + \frac{\alpha F}{Gc} \Theta = \frac{I^2 R}{Gc}. \tag{3}$$

Решая последнее уравнение при начальном условии $\Theta|_{\tau=0} = 0$, получим закон изменения избыточной температуры проводника при его нагреве электрическим током:

$$\Theta = \frac{I^2 R}{\alpha F} \left(1 - e^{-\frac{\alpha F}{Gc} \tau} \right). \tag{4}$$

Из уравнения (4) следует, что нагрев токоведущего проводника происходит по экспоненциальной кривой. Как видно, с течением времени подъем температуры проводника замедляется и при $\tau \rightarrow \infty$ температура достигает максимального установившегося значения:

$$t_{\max} = t_0 + \frac{I^2 R}{\alpha F}. \tag{5}$$

Коэффициент теплоотдачи α , входящий в уравнение нагрева (4), может быть определен по критерию Нуссельта Nu , который характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между телом и потоком воздуха

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \tag{6}$$

где d – диаметр проводника, м; λ – коэффициент теплопроводности материала проводника, Вт/(м·К).

Критерий Нуссельта, в свою очередь, связан с критериями Рейнольдса Re , Грасгофа Gr и Прандтля Pg .

Критерий Рейнольдса Re характеризует интенсивность вынужденного движения теплоносителя (воздуха). Представляет собой отношение сил инерции (скоростного напора) к силам вязкого трения

$$Re = \frac{\varrho \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \tag{7}$$

где ϱ – скорость движения воздуха, м/с; d – диаметр проводника, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Критерий Грасгофа Gr представляет собой отношение подъемной силы, возникающей вследствие теплового расширения воздуха, к силам вязкого трения:

$$Gr = \frac{gd^3 \rho^2 \beta}{\mu^2} \Delta t, \tag{7}$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; β – коэффициент температурного расширения воздуха, 1/К; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; Δt – температурный напор между поверхностью проводника и воздухом, °С.

Критерий Прандтля Pg характеризует влияние физико-химических свойств воздуха на интенсивность теплообмена:

$$\text{Pr} = \frac{\mu c}{\lambda}, \quad (8)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·м³); λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К).

Теплообмен между нагретым проводником и окружающим его воздухом может осуществляться в условиях как естественной, так и вынужденной конвекции.

При естественной конвекции перемещение отдельных объемов воздуха происходит исключительно вследствие различия температур в его различных местах и вызванного этим различия плотностей. В этом случае критерием Рейнольдса допустимо пренебречь и критерий Нуссельта Nu связан с критериями Грасгофа Gr и Прандтля Pr .

По данным акад. М.А. Михеева, в условиях естественной конвекции возле тонких нагретых проволок возникает пленочный или переходной от пленочного к ламинарному режимы течения теплоносителя.

Для таких случаев критерий Нуссельта может быть вычислен как:

$$Nu = \begin{cases} 0,5, & \text{при } Gr \cdot \text{Pr} < 10^{-3}; \\ 1,18 Gr^{0,125} \text{Pr}^{0,125}, & \text{при } Gr \cdot \text{Pr} = 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2. \end{cases} \quad (9)$$

В случае вынужденной конвекции интенсивность принудительного движения теплоносителя преобладает над интенсивностью его свободного движения. В этой связи критерий Нуссельта зависит от критерия Рейнольдса. Критерием Грасгофа допустимо пренебречь.

В условиях вынужденной конвекции при поперечном обтекании воздушного потока поверхности цилиндра или трубы критерий Нуссельта может быть вычислен как:

$$Nu = \begin{cases} 0,76 \text{Re}^{0,4} \text{Pr}^{0,37}, & \text{при } 1 < \text{Re} < 40; \\ 0,52 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,37}, & \text{при } 40 \leq \text{Re} < 10^3; \\ 0,26 \text{Re}^{0,6} \text{Pr}^{0,37}, & \text{при } 10^3 \leq \text{Re} < 2 \cdot 10^5; \\ 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4}, & \text{при } 2 \cdot 10^5 < \text{Re} < 10^7. \end{cases} \quad (10)$$

Располагая значением критерия Нуссельта, из формулы (6) можно определить значение коэффициента теплоотдачи для данных условий:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}. \quad (11)$$

Рассмотренные уравнения позволяют провести моделирование температурного режима нагрева электрического проводника при различных условиях его конвективного теплообмена с окружающей воздушной средой.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УСТАНОВЛЕНИИ СВЯЗЕЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

*Жураев Тожиддин Хайруллаевич, докторант кафедры «НГиИГ»
Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан*

В статье рассматриваются вопросы применения результатов научных исследований по инженерной геометрии и компьютерной графике в учебном процессе. Определены вертикальные связи предмета как связь научных исследований и учебного процесса.

Современные требования к подготовки инженерных кадров, в условиях опережения технологий от производства, вставит перед нами такие задачи как формирование у них компетенций по проектированию энерго и ресурсосберегающих технических средств, применением концептуального дизайна с учетом экологических вопросов.

Темпы развития научных исследований создает некоторые пробелы между наукой и производством, которые можно заполнить также упрочнением связей научных исследований и учебного процесса.

В настоящее время автор тоже занимается вопросами связи научных исследований и учебного процесса. В частности такая связь установлена при разработке учебно-методического комплекса по «Начертательной геометрии и компьютерной графике» по приказу МВ и ССО РУз №439 от 22 октября 2016 года «Повышение качества подготовки учебно-методических материалов на основе зарубежного опыта» [1]. В нем применен зарубежный опыт по применению методов и средств геометрического моделирования, приобретенной в ходе производственной практики на машиностроительных предприятиях Дели по курсу «3D моделирование и формообразование применением CATIA V5», Сертификат S.No.INT 7/13-14, 25/10/2013, а также в ходе стажировки по программе «Инновации в технике и технологиях» в СПбГПУ, Сертификат Рег. № 0068/06, 02/05/2006 [2,3]. При разработке силлабуса проведен системный анализ предмета, в результате чего произведена тематическая расстановка разделением предмета на модули с учетом современного развития методов и средств геометрического моделирования [4]. При составлении учебного материала установлена связь научных исследований и учебного процесса, и по каждой теме выбран дополнительный материал по результатам научных исследований автора [5]. Планируется заполнить базу УМК научными материалами местных и зарубежных авторов.

Применение результатов научных исследований в учебном процессе позволяет инженерам в будущем адаптировать производства к опережающим технологиям. Один из составляющих компетенции инженеров определяется навыками применения методов и средств геометрического моделирования, без которых немислима разработка технических средств в условиях

всевозрастающего дефицита энергии и ресурсов. А навыки концептуально-го дизайна дает перспективный взгляд инженеру в решении таких экологических проблем производства, как реновация, утилизация, модернизация, трансформация, вторичное или многоразовое применение использованной продукции [6]. Разработка педагогической концепции, при участии в конкурсе «Самый лучший педагог ВУЗа» по отрасли «Инженерное дело» в номинации «Самый лучший педагог-соискатель» объявленной МВ и ССО РУз по Постановлению КМ РУз №32 24.02.2015, посвящена именно этим проблемам [7].

Известно что как и другие предметы, «Инженерная графика» («Начертательная геометрии», «Машиностроительное черчение» и «Инженерная компьютерная графика») имеет межпредметную связь с «Высшей математикой», «Механикой» и другими предметами 1-го и 2-го курсов, которых можно назвать горизонтальными связями. Однако, ныне становится актуальным, установит также вертикальные связи, проявляющиеся на всем этапе подготовки инженерных кадров в 1-4 курсах бакалавриата, включая также магистратуру. Установление вертикальных связей основывается на связи научных исследований и учебного процесса. В частности, результаты научных исследований автора по инженерной геометрии и компьютерной графике были применены в учебный процесс ТИИМ и ТашГАУ [8]. Разработанная методика проектирования сложных технических поверхностей применением методов и средств геометрического моделирования можно успешно применять при подготовки выпускных - квалификационных работ и магистерских диссертаций по технологическим машинам и оборудованию.

Необходимо отметить, что «Проектирование поверхностей» является одним из основных задач инженерной геометрии, и является центром пересечения всех предыдущих и последующих тем предмета «Инженерной графики». Этот модуль является так же ключевым в подготовки инженерных кадров, отвечающих вышеприведенным требованиям [9]. Поэтому этот модуль можно рассмотреть как генератор научных идей и связывающим звеном научных исследований и учебного процесса. В перспективе планируется реализация инновационного проекта – «Создание лаборатории геометрического моделирования технологических машин и оборудования», где можно будет вести научные исследования со связью с учебным процессом, в котором будут привлечены часть одаренных студентов независимо от курса (1-4) и вида (бакалавриат и магистратура) обучения.

Список литературы

1. Жураев Т.Х. УМК по «Начертательной геометрии и компьютерной графики». Учебно-методическая часть БухИТИ, 2016. www.bmti.uz.
2. Материалы отчета по программе ИТЕС Гранта Правительства Индии. Центральный Институт Проектирования Оборудований, Хайдарабад, Индия (www.citdindia.org.). Учебно-методическая часть БухИТИ, 2013. www.bmti.uz.

3. Материалы отчета по гранту фонда “ISTE’DOD” Президента РУз по курсу повышения квалификации на кафедре «Прикладная геометрия и дизайн» СПбГПУ (www.spbstu.ru.). Учебно-методическая часть БухИТИ, 2006. www.bmti.uz.

4. Жураев Т. Х., Киямов Ш. Ф. Системный анализ предмета «Инженерной графики» по тематике со связью с геометрическим моделированием и CAD-технологиями. Казан. «Молодой учёный». № 6 (110). Март, 2016 г. 773-775 с.

5. Жураев Т.Х. Основы геометрического моделирования рабочих органов мелиоративной и сельскохозяйственной техники. Монография. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, ISBN 978-3-659-66832-6. 2015 – 168 с.

6. Жураев Т.Х. Разработка концепции конструкторского бюро ВТУЗа на основе добровольческой деятельности. Сборник научных статей I-й международной студенческой НПК – Курск: ЮЗГУ, 26 – 28 октября 2016 г., 288-290 с.

7. Материалы конкурса «Самый лучший педагог ВУЗа». Учебно-методическая часть БухИТИ, 2016. www.bmti.uz.

8. Акты внедрения результатов научных исследований в ТИИМ от 12.05.2012) и ТашГАУ (от 21.05.2012).

9. Жураев Т.Х. “Developing of students’ creativity by module “Surfacing using CAD technologies”. Выпускной проект. Центр переподготовки Главного НМЦ МВ и ССО РУз при ТашГПУ, Ташкент, 2015, 75 с.

ОБЩИЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Жураева М., Расулов М.

Вабкентский профессиональный колледж по сервису и бытового обслуживания, Узбекистан

Особое место в управлении качеством продукции занимает контроль качества. Именно контроль как одно из эффективных средств достижения намеченных целей и важнейшая функция управления способствует правильному использованию объективно существующих, а также созданных человеком предпосылок и условий выпуска продукции высокого качества. От степени совершенства контроля качества, его технического оснащения и организации во многом зависит эффективность производства в целом.

Именно в процессе контроля осуществляется сопоставление фактически достигнутых результатов функционирования системы с запланированными. Современные методы контроля качества продукции, позволяющие при минимальных затратах достичь высокой стабильности показателей качества, приобретают все большее значение.

Контроль – это процесс определения и оценки информации об отклонениях действительных значений от заданных или их совпадении и результатах анализа. Контролировать можно цели (цель/цели), ход выполнения плана (цель/бюджет), прогнозы (будет/будет), развитие процесса (будет/есть).

Предметом контроля может быть не только исполнительская деятельность, но и работа менеджера. Контрольная информация используется в процессе регулирования. Так говорят о целесообразности объединения

планирования и контроля в единую систему управления (Controlling): планирование, контроль, отчетность, менеджмент.

Контроль осуществляется лицами, прямо или косвенно зависящими от процесса. Проверка (ревизия) – это контроль лицами, не зависящими от процесса.

Процесс контроля должен пройти следующие стадии:

1. Определение концепции контроля (всеобъемлющая система контроля «Controlling» или частные проверки);

2. Определение цели контроля (решение о целесообразности, правильности, регулярности, эффективности процесса правления);

3. Планирование проверки:

а) объекты контроля (потенциалы, методы, результаты, показатели и т.д.);

б) проверяемые нормы (этические, правовые, производственные);

в) субъекты контроля (внутренние или внешние органы контроля);

г) методы контроля;

д) объем и средства контроля (полный, сплошной, выборочный, ручной, автоматический, компьютеризированный);

е) сроки и продолжительность проверок;

ж) последовательность, методики и допуски проверок.

4. Определение значений действительных и предписанных.

5. Установление идентичности расхождений (обнаружение, количественная оценка).

6. Выработка решения, определение его веса.

7. Документирование решения.

8. Метапроверка (проверка проверки).

9. Сообщение решения (устное, письменный отчет).

10. Оценка решения (анализ отклонений, локализация причин, установление ответственности, исследование возможностей исправления, меры по устранению недостатков).

Виды контроля различают по следующим признакам:

1. По принадлежности субъекта контроля к предприятию:

внутренний;

внешний;

2. По основанию для проведения контроля:

добровольный;

по закону;

по Уставу.

3. По объекту контроля:

контроль за процессами;

контроль за решениями;

контроль за объектами;

контроль за результатами.

3. По регулярности:

системный;

нерегулярный;

специальный.

Контроль качества должен подтверждать выполнение заданных требований к продукции, включая в себя:

- входной контроль (материалы не должны использоваться в процессе без контроля; проверка входящего продукта должна соответствовать плану качества, закрепленным процедурам и может иметь различные формы);

- промежуточный контроль (организация должна иметь специальные документы, фиксирующие процедуру контроля и испытаний внутри процесса, и осуществлять этот контроль систематически);

- окончательный контроль (предназначен для выявления соответствия между фактическим конечным продуктом и тем, который предусмотрен планом по качеству; включает в себя результаты всех предыдущих проверок и отражает соответствие продукта необходимым требованиям);

- регистрация результатов контроля и испытаний (документы о результатах контроля и испытаний предоставляются заинтересованным организациям и лицам).

Особым видом контроля являются испытания готовой продукции. *Испытание* – это определение или исследование одной или нескольких характеристик изделия под воздействием совокупности физических, химических, природных или эксплуатационных факторов и условий. Испытания проводятся по соответствующим программам. В зависимости от целей существуют следующие основные виды испытаний:

- предварительные испытания – испытания опытных образцов для определения возможности приемочных испытаний;

- приемочные испытания – испытания опытных образцов для определения возможности их постановки на производство;

- приемо-сдаточные испытания – испытания каждого изделия для определения возможности его поставки заказчику;

- периодические испытания – испытания, которые проводят 1 раз в 3-5 лет для проверки стабильности технологии производства;

- типовые испытания – испытания серийных изделий после внесения существенных изменений в конструкцию или технологию.

Точность измерительного и испытательного оборудования влияет на достоверность оценки качества, поэтому обеспечение его качества особенно важно.

Из нормативных документов, регламентирующих метрологическую деятельность, выделяют: Закон РФ о единстве измерений и международный стандарт ИСО 10012-1:1992 о подтверждении метрологической пригодности измерительного оборудования.

При управлении контрольным, измерительным и испытательным оборудованием организация должна:

- определить, какие измерения должны быть сделаны, какими средствами и с какой точностью;
- оформить документально соответствие оборудования необходимым требованиям;
- регулярно проводить калибровку (проверку делений прибора);
 - определить методику и периодичность калибровки;
 - документально оформлять результаты калибровки;
 - обеспечить условия применения измерительной техники с учетом параметров окружающей среды;
 - устранять неисправные или непригодные контрольно-измерительные средства;
- производить регулировку оборудования и программного обеспечения с помощью только специально обученного персонала.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВАЛОВ ИЗ СТАЛЕЙ СТАЛЬ 45 И СТАЛЬ 35 ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Зайдес Семен Азикович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроительных технологий и материалов, Нгуен Ван Хинь, аспирант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Рассмотрено состояние поверхностного слоя упрочненных деталей после реверсивного поверхностного пластического деформирования локальным инструментом. Качество упрочняющей обработки оценено по результатам измерения шероховатости, твердости, остаточных напряжений, микроструктуры и микротвердости по глубине упроченного слоя. Экспериментальными исследованиями установлено, что реверсивная обработка на сталях разных будет получить изменение качества поверхностного слоя разные.

Ключевые слова: реверсивная обработка, шероховатость, микротвердость, микроструктура, остаточное напряжение.

Состояние вопроса. От качества поверхностного слоя зависят эксплуатационные свойства: износ – и коррозионная стойкость, сопротивление контактной усталости и другие. Взаимосвязь характеристик качества слоя и эксплуатационных свойств деталей свидетельствует о том, что поверхность должна быть достаточно твердой, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей при значительной площади опорной поверхности [2, 5, 6].

С помощью финишных механических методов обработки (шлифование, хонингование, доводка) обеспечивается необходимая конфигурация дета-

лей с заданной точностью, но не достигается оптимальное качество поверхностного слоя. Оно обеспечивается поверхностным пластическим деформированием (ППД), при котором стружка не образуется, а происходит тонкое пластическое деформирование поверхностного слоя. В результате упрочняется поверхностный слой, повышается износ и коррозионная стойкость и т.д. Во многих случаях применением ППД удается повысить запасы прочности деталей, работающих при переменных нагрузках, в 1,5 – 3 раза и увеличить срок службы деталей в десятки раз [2,3,5].

В связи с изложенным, целью данной работы является изучение механических свойств поверхностного слоя деталей, упрочненных в условиях реверсивного движения деформирующего инструмента. Оценка изменение качества поверхностного слоя цилиндрических валов из сталей Сталь 45 и Сталей 35 по результатам измерения шероховатости, твердости, остаточных напряжений, микроструктуры и микротвердости по глубине упроченного слоя.

Результаты экспериментальных исследований. Для определения изменения качества поверхностного слоя цилиндрических валов из сталей Ст45 и Ст35 при реверсивном поверхностном пластическом деформировании упрочненного металла изготовили цилиндрические образцы из стали Сталь 45 и Сталь 35, диаметром 23 мм (Рис 1).

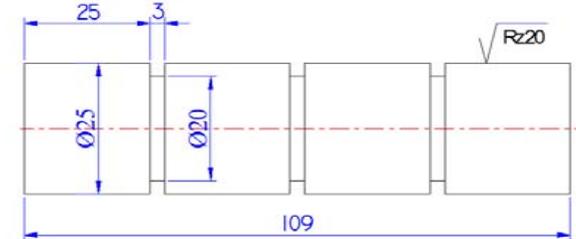


Рисунок 1 - Опытный образец

Образец разделен канавками на 4 участка, каждый из которых упрочнен по условиям, изложенным в таблице 1. Образцы упрочняли на токарном станке 1К62 одношариковым обкатником: диаметр шара 16 мм, частота вращения заготовки n = 200 об/мин; подача s = 0,14 мм/об.

Таблица 1 - Способы упрочнения образцов

Номер участка	Условия упрочняющей обработки	Натяг t, мм
1	Обкатка за 1 проход	t = 0,1
2	Обкатка за 2 прохода в одном направлении	t ₁ = t ₂ = 0,05
3	Обкатка за 2 прохода в разных направлениях	t ₁ = t ₂ = 0,05
4	Исходный (неупрочненный образец)	

Оценка шероховатости. Шероховатость обработанных поверхностей определена на приборе FormTalySurfi200, который предназначен для измерений текстуры поверхности и отклонения от формы окружности. На каждом участке цилиндрического образца проведены измерения шероховатости в трех местах через 120° по окружности и вычислены средние значения Ra и Rz.

Результаты определения средних значений параметров шероховатости Ra и Rz представлены в таблице 2 – сталь 35 и сталь 45.

Таблица 2 - Результаты определения Ra и Rz при реверсивном деформирующем упрочнении

Номер участка		1	2	3	4
Шероховатость сталь 35	Ra, мкм	0.68	0.5	0.47	4.44
	Rz, мкм	4.79	3.39	3.24	19.61
Шероховатость сталь 45	Ra, мкм	0.85	0.63	0.59	4.44
	Rz, мкм	6.0	4.3	4.1	19.6

Результаты опытов показывают, что локальное пластическое деформирование существенно снижает шероховатость поверхности после механической обработки. Так, параметр Ra снижается в 6-9 раз, а Rz в 4-7 раз. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными известных работ [2, 3, 4].

Если суммарный натяг не изменять, но упрочнение выполнять за два прохода, то Ra снижается еще на 26%, а Rz – на 29%. Если изменить направление упрочнения на противоположное, то шероховатость Ra снизится еще на 5-6%.

Лучшая шероховатость получается у образцов из стали 35.

Определение остаточных напряжений. Остаточные напряжения измерены на приборе XStressG3/G3R. Рентгеновский дифрактометр XSTRESS применяется для определения остаточных напряжений методом рентгеновской дифракции [7]. Метод рентгеновской дифракции - это точный и надежный метод определения остаточных напряжений, используемый уже долгое время в рентгеновской дефектоскопии. Используя закон дифракции Брэгга, рентгеновский дифрактометр определяет остаточные напряжения путем измерения угла отклонения рентгеновского луча от поверхности анализируемого компонента. На каждом участке обработанной цилиндрической поверхности измерены остаточные напряжения в трех точках. В каждой точке определяли остаточные напряжения в двух направлениях: вдоль оси \square_z и поперек оси \square_{\square} . Результаты измерения представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты определения остаточных напряжений

Номер участка	Остаточные напряжения сталь 35, МПа		Остаточные напряжения сталь 45, МПа	
	Вдоль(\square_z)	Поперёк $\square_{\square}\square$	Вдоль(\square_z)	Поперёк $\square_{\square}\square$
1	-266.9	-551.3	-256.3	-542.6
2	-250.5	-541.5	-240.2	-532.1
3	-202.9	-369.1	-205.3	-369.4
4	71	182	72	185

Результаты экспериментального определения остаточных напряжений показывают:

- После обработки точением на поверхности заготовка формируются остаточные напряжения растяжения.

- Дробная деформация приводит к снижению в поверхностном слое остаточных напряжений. Минимальные остаточные напряжения сжатия получаются при 2^x проходах в разных направлениях.

Изменение размеров зерен. Для изучения микроструктуры упрочненного металла проведены металлографические исследования с помощью микроскопа Микромед МЕТ-2, который позволяет визуально наблюдать и фотографировать микроструктуры металлов с увеличением от 100 до 1000 раз.

Таблица 4 - Изменение размера зерен при реверсивном деформационном упрочнении

Номер участка	Сталь 35				Сталь 45			
	Размер зерна вдоль оси, мкм		Размер зерна поперёк оси, мкм		Размер зерна вдоль оси, мкм		Размер зерна поперёк оси, мкм	
	край	сере- дина	край	сере- дина	край	сере- дина	край	сере- дина
1	17.9	27.8	19.2	27.6	38,5	54,7	32,7	48,3
2	17.8	27.9	19.0	27.7	38,3	54,8	32,6	48,4
3	17,1	27,8	18.1	27.3	38,2	54,7	32,5	48,3
4	26,3	27,6	26.5	27.6	47,8	54,8	41,2	48,4

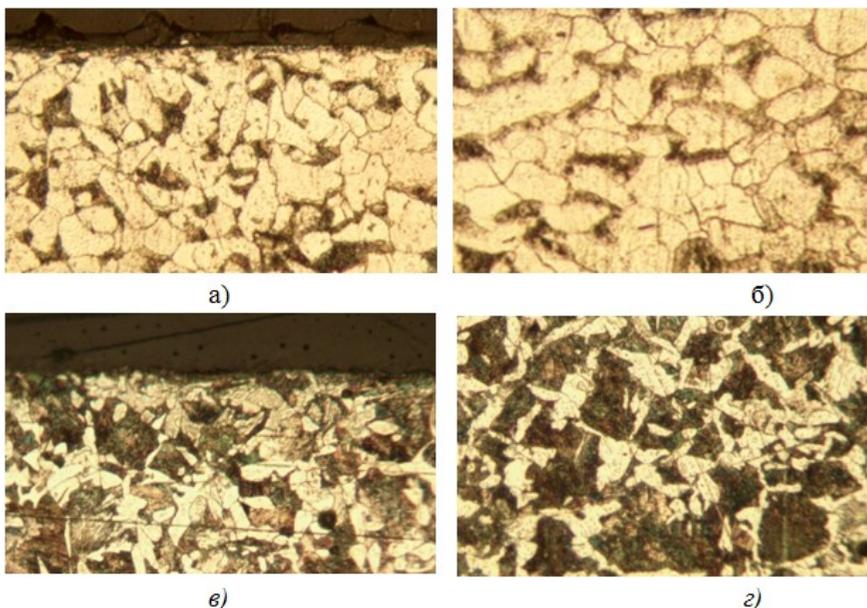


Рисунок 2. - Микроструктура образца после обработка (увелечение в 400 раз)
 а) поверхность образца (сталь 35), б) осевая зона (сталь 35)
 в) поверхность образца (сталь 45), г) осевая зона (сталь 45)

Результаты определения размеров зерен до и после поверхностного пластического деформирования показывают следующее:

- Изменение размеров зерен происходит только в поверхностных слоях, причем в осевом направлении образца зерна уменьшаются в среднем на 31%, а в поперечном – на 28% (сталь 35) и уменьшаются в среднем на 30%, а в поперечном – на 34% (сталь 45). Центральная область практически не претерпевает пластических деформаций и зерна не изменяют своих размеров.

- Изменение направления обработки несущественно сказывается на изменении размера зерен.

Определение твёрдости. Для определения твёрдости по Роквеллу использовали прибор марки HBRV-187.5. На каждом участке образца твёрдость измерена в шести точках, расположенных на поверхности по двум окружностям. Твёрдость каждого участка принята как среднее значение твёрдости в шести точках. Результаты измерения твёрдости представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты измерения твёрдости при реверсивном деформационном упрочнении

Номер участка	1	2	3	4
Твёрдости сталь 35, HRA	43	43	43	37
Твёрдости сталь 45, HRA	54	54	54	47

После отделочно-упрочняющей обработки шариком твердость поверхности повышается в средни на 16% (сталь 35) и 14.9% (сталь 45). Изменение направления обработки и количество проходов практически не влияют на твердость материала.

Определение микротвёрдости по глубине упроченного слоя. Для определения микротвердости по радиальному направлению поперечного сечения образцов проведены измерения на микротвердомере ПМТ-3. Микротвердость определена в двенадцати точках по одной линии от периферии к центру. Распределение микротвёрдости по глубине упроченного слоя представлено на рис. 3. и рис. 4.

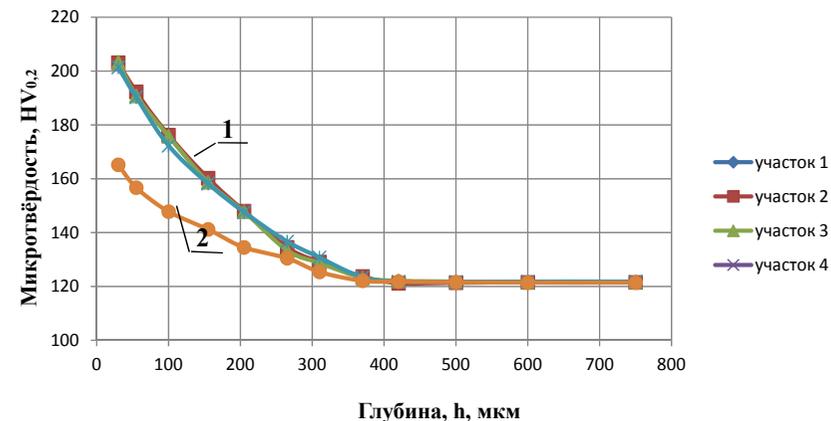


Рисунок 3 - Распределение микротвёрдости по глубине поверхностного слоя (сталь 35)

1) микротвёрдость после упрочнения, 2) микротвёрдость до упрочнения.

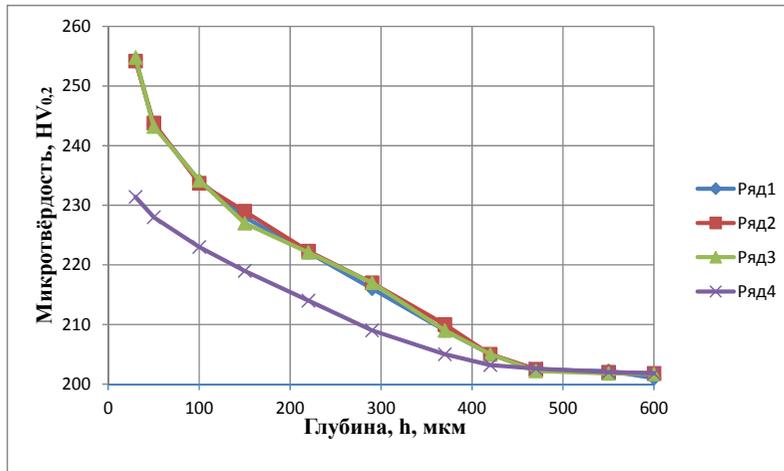


Рисунок 4 - Распределение микротвёрдости по глубине поверхностного слоя (сталь 45)

1) микротвёрдость после упрочнения, 2) микротвёрдость до упрочнения.

В результате экспериментальных исследований установлено, что микротвёрдость поверхностного слоя после ППД повышается в среднем на 23%. Реверсивное движение деформирующего инструмента практически не изменяет микротвёрдость поверхностного слоя. Из рис. 4 и рис. 5 видно, что глубина упрочнения при данных режимах обработки составляет 0,35 – 0,40 мм (сталь 35) 0,45 – 0,5 мм (сталь 45).

Выводы.

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что использование реверсивной деформации снижает шероховатость поверхности, упрочнённой локальным инструментом.

2. Реверсивная обработка снижает на 19-32% величину остаточных напряжений сжатия на поверхности детали.

3. Реверсивное упрочнение локальным инструментом не изменяет твёрдость и закономерность её распределение по глубине деформированного слоя.

4. Реверсивная обработка поверхностным пластическим деформированием по сравнению с обычной, способствует уменьшению размера зерна в поверхностном слое на 4-5%.

5. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют утверждать, что использование реверсивного движения при поверхностном пластическом деформировании не только не снижают качество поверхностного слоя, но в целом несколько даже повышают его. Исключение составляют остаточные напряжения сжатия, которые при реверсивной обработке снижаются на 20-30 %.

Список литературы

1. Зайдес, С.А.; Емельянов, В.Н.; Полов, М.Е.; Кропоткина, Е.Ю.; Бубнов, А.С. Деформирующая обработка валов – Издательство Иргту - Иркутск, 2013.- 449 с.
2. Обработка деталей поверхностным пластическим деформированием. Монография под ред. С. А. Зайдеса - Издательство Иргту - Иркутск, 2014.- 559 с.
3. Шнейдер, Ю.Г. технология финишной обработки давлением: Справочник. СПб: Политехника, 1988. - 414 с.
4. Реслер И., Хардерс Х., Бекер М. Механическое поведение конструкционных материалов – Издательство. Интеллект, Долгопрудный. 2011.- 502 с.
5. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М. Машиностроение. 2002.- 299 с.
6. Жасимов М. М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании. Издательство Наука, Алма-Ата, 1986.- 205 с.
7. <http://5fan.ru/wiewjob.php?id=3193>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВТУЛОК ПОСЛЕ ПОПЕРЕЧНОЙ ОБКАТКИ ПЛОСКИМИ ПЛИТАМИ

Зайдес С.А., доктор технических наук, профессор

Фам Дак Фьонг, аспирант кафедры машиностроительных технологий и материалов

Иркутский национальный исследовательский технический университет

С помощью программного комплекса ANSYS рассмотрено напряженно-деформированное состояние цилиндрических втулок при поперечной обкатке плоскими плитами. Определены пластическая деформация и формы втулок после обкатки. Получено распределение остаточных напряжений в поперечном сечении втулок при различных толщинах стенки. Представлены экспериментальные результаты по определению качества поверхностного слоя втулок после обработки: точность диаметрального размера и шероховатость поверхности, отклонение от круглости. Результаты работы позволяют рекомендовать предлагаемый способ поперечной обкатки плоскими плитами для внедрения в технологию изготовления цилиндрических втулок с определенной толщиной стенки.

Ключевые слова: упрочнение, поперечная обкатка, степень обжатия, шероховатость, остаточное напряжение, втулка, толщина стенки, обкатный станок.

Состояние вопроса. Пустотелые оси и втулки обладают высоким эксплуатационным показателем, так как в первую очередь, они меньше по массе, чем сплошные. Поэтому их применение удовлетворяет жестким требованиям к весу оборудования. Пустотелые оси обладают большей удельной прочностью и жесткостью так как наружные слои таких деталей играют основную роль при сопротивлении изгибу и кручению. Кроме того, эти детали позволяют осуществлять рациональную компоновку узлов за счет пропуска через них и размещения внутри других деталей, находят

достаточно широкое распространение в машиностроении [1]. Положительная роль и степень распространения втулок и пустотелых осей могут быть усилены применением упрочняющих технологий, основанных на методах поверхностного пластического деформирования (ППД), которые действительно повышают их эксплуатационные характеристики. Этот наиболее доступный и относительно простой способ финишной обработки цилиндрических деталей дает возможность улучшать чистоту поверхности и сформировать в их поверхностном слое благоприятную систему остаточных сжимающих напряжений [2-4].

В иркутском национальном техническом университет разработан новый способ и технологическое оснащение для отдельно-упрочняющей обработки цилиндрических деталей обкаткой плоскими плитами [5].

Поперечная обкатка плоскими плитами представляет собой перспективную технологию обработки ППД [6]. Отличительной особенностью упрочняющей обработки на плоских плитах являются: высокая производительность процесса, возможность автоматизации технологического процесса, отсутствие необходимости закрепления детали перед обработкой, отсутствие центровых отверстий, доступность полной обработки цилиндрической поверхности без переустановки детали, отсутствие изгиба при упрочнении, возможность обработки тонких (мало жестких) деталей.

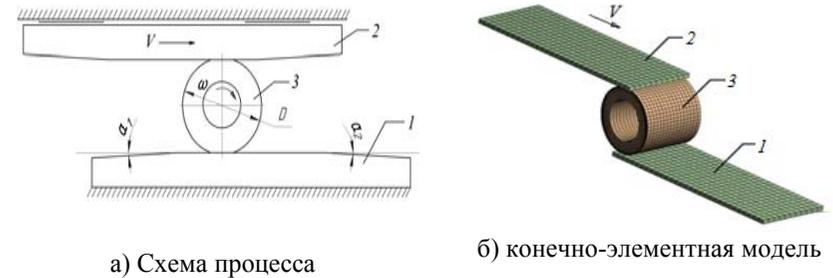
В раннее выполненных исследованиях [7,8] было установлено, что поверхностное пластическое деформирование обкаткой заготовки плоскими плитами является эффективным технологическим процессом, обеспечивающим получение высокого качества деталей типа валов и осей небольших размеров.

Целью настоящей работы является оценка возможности использования технологии обкатки плоскими плитами при упрочнении пустотелых цилиндрических деталей типа осей и втулок. Особый интерес в данном исследовании представляет толщина стенки втулки, при которой удастся получить заданные параметры качества поверхностного слоя.

Моделирование процесса обкатки плоскими плитами. Процесс поперечной обкатки плоскими плитами по кинематике аналогичен процессу поперечно-клиновой прокатки [9]. Инструмент при поперечной обкатке имеет вид плоской плиты с малым углом заходной части α_1 (рис. 1а). Малый угол α_2 в выходной части инструмента служит для уменьшения концентрации напряжения при выходе детали из зоны обработки.

В данной работе рассматривается напряженно-деформированное состояние втулки при поперечной обкатке в зависимости от толщины стенки (t) и числа ее оборотов (n). Расчет выполнен с помощью прикладной программы ANSYS [10], которая предназначена для математического моделирования различных физических процессов на основе метода конечных элементов. Для проведения расчета в программе ANSYS были построены геометрические модели в виде втулки и двух плит и контакта между ними (рис. 1б). Приняты следующие параметры моделирования: втулки

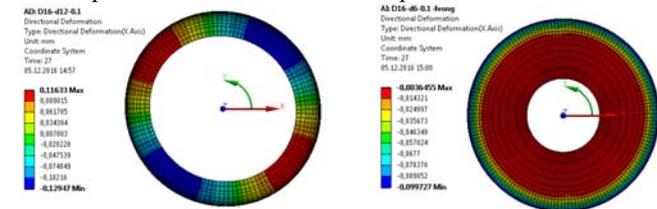
наружным радиусом 16 мм и длиной 16 мм из стали Ст45 ($\sigma_T = 360$ МПа) с различными диаметрами отверстия; плиты размерами 18x1 мм с длиной, соответствующей необходимому числу оборотов втулки. Плиты считаются абсолютно жесткими.



а) Схема процесса б) конечно-элементная модель

Рисунок 1 - Поперечная обкатка плоскими плитами
1 – неподвижная плита, 2 – подвижная плита, 3 – заготовка

В схеме на рис. 1 нижняя плита неподвижна, верхняя плита опускается вниз до значения величины обжатия 0,2 мм и перемещается вправо до тех пор, пока втулка не совершит нужное число оборотов. После этого верхняя плита поднимается в исходное положение, и происходит полная разгрузка заготовки. В результате в цилиндре появляются остаточная деформация в радиальном направлении и остаточные напряжения во всем объеме детали.



а) Трубка с толщиной стенки 2 мм б) Трубка с толщиной стенки 5 мм

Рисунок 2 - Типичные радиальные деформации при поперечной обкатке плоскими плитами

При малых толщинах стенки втулок (рис. 2а) после обкатки в поперечном сечении деформация в радиальном направлении идет в двух противоположных направлениях. То есть, в одном радиальном направлении диаметр детали увеличивается, а в другом – уменьшается. При этом обработанные детали приобретают овальную форму и отклонение от круглости имеет большое значение. При больших толщинах стенки, деформация в радиальном направлении идет в одном направлении к центру. Причем

идентичная радиальная деформация поверхностных слоев обеспечивает высокую точность обработки (рис. 2б).

Отклонение от круглости наружной поверхности определяется сопоставлением радиальных деформаций всех точек на поверхности. Величина отклонения от круглости Δ считается по формуле $\Delta = u_{max} - u_{min}$, где u_{max} – максимальная радиальная деформация, u_{min} – минимальная радиальная деформация.

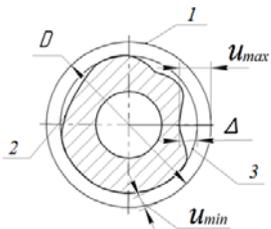


Рисунок 3 - Схема отклонения от круглости при обкатке втулки
 1- Исходная окружность поперечного сечения втулки, 2 – Реальная окружность после обкатки,
 3 – Номинальная окружность после обкатки.

На рис. 4 показано отклонение от круглости втулок в зависимости от толщины стенки и числа оборотов.

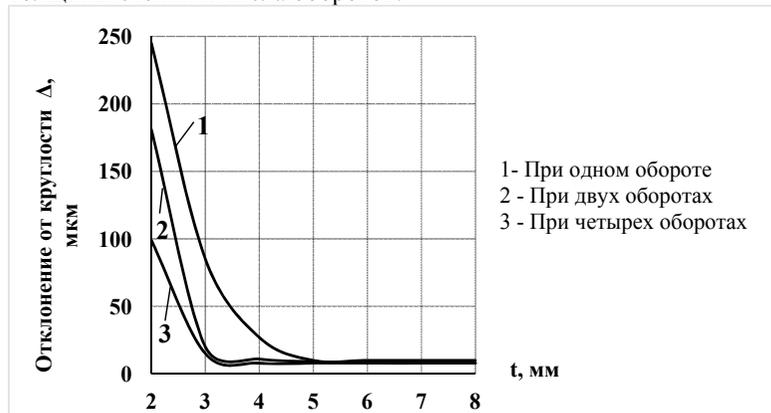


Рисунок 4 - Отклонение от круглости в зависимости от толщины втулки числа оборотов

На рис.4 видно, что при малых толщинах стенки (до 38% от радиуса втулки) увеличение число оборотов существенно снижает отклонение от круглости втулки. Когда толщины стенки увеличивается до некоторого значения (в этом случае до 50% от радиуса втулки), отклонение от круглости становится малым и почти не зависит от числа оборотов. Величина перемещения верхней плиты определяется по формуле $l = 2\pi nD$, где n - число оборотов; D – диаметр детали. Повышение числа оборотов существенно

увеличивает ход верхней плиты. С увеличением числа оборотов усложняется изготовление инструментов, одновременно уменьшается производительность обработки. Поэтому, чтобы достигать восьмой степени точности (допускаемое значение отклонение 12 мкм) целесообразно обрабатывать втулки с толщины больше 3 мм. Для этих втулок уменьшение диаметра в зависимости от числа оборотов показано на рис. 5. На обработанных деталях наблюдается большая доля пластической деформации, представляющей 80-90% от величины обжатия.

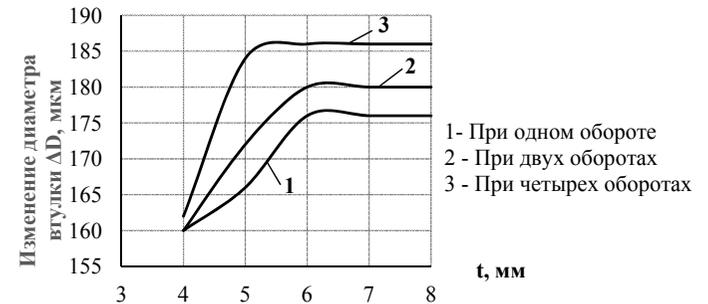


Рисунок 5 - Изменение диаметра втулки в зависимости от толщины стенки и числа оборотов

На рис. 6 показана радиальная пластическая деформация по радиусу детали при обкатке втулки с отверстием 2 мм за два оборота. По этому рисунку можно определить толщину деформированного слоя детали h. Эту толщину можно принять за глубину упрочненного слоя. Зависимость глубины h от толщины стенки показана на рис. 7. С увеличением числа оборотов упрочненный слой немного углубляется к центру детали.

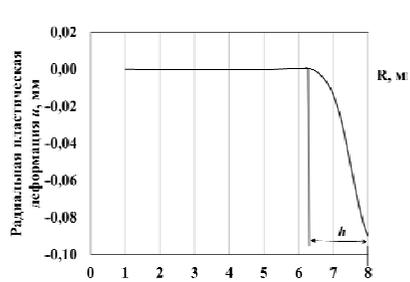
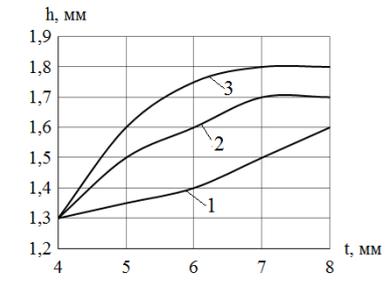


Рисунок 6 - Радиальная пластическая деформация по радиусу детали (при $t=8$ мм)



1 - При одном обороте 2 - При двух оборотах 3 - При четырех оборотах

Рисунок 7 - Изменение толщины упрочненного слоя в зависимости от толщины стенки и числа оборотов

При обкатке втулок необходимо обратить внимание на изменение диаметра отверстия, так как большое изменение диаметра отверстия приводит к необходимости повторной обработки втулок. После обкатки изменение диаметра отверстия втулки не зависит от числа ее оборотов и только зависит от толщины стенки как показано на рис. 8. Изменение диаметра отверстия оказывается малым и при толщинах стенки больше 5-6 мм такое изменение не влияет на точность обработки отверстия. При толщине стенки $t = 4$ мм изменение диаметра отверстия 20 мм не позволяет получить отверстие с точностью ниже восьмого квалитета.

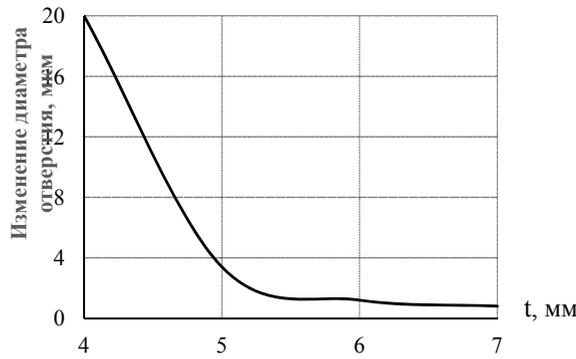


Рисунок 8 - Изменение диаметра отверстия в зависимости от толщины стенки

После полной разгрузки в детали появляются остаточные напряжения во всем направлениям. В каждой точке действует система остаточных напря-

жений, включающая радиальное, тангенциальное и осевое напряжения. Напряженное состояние втулки можно оценить эквивалентным напряжением как обобщенный показатель напряжения [11]. Для цилиндра без отверстия ($t=8$ мм) после обкатке формируется схема остаточных напряжений как показано на рис. 9.

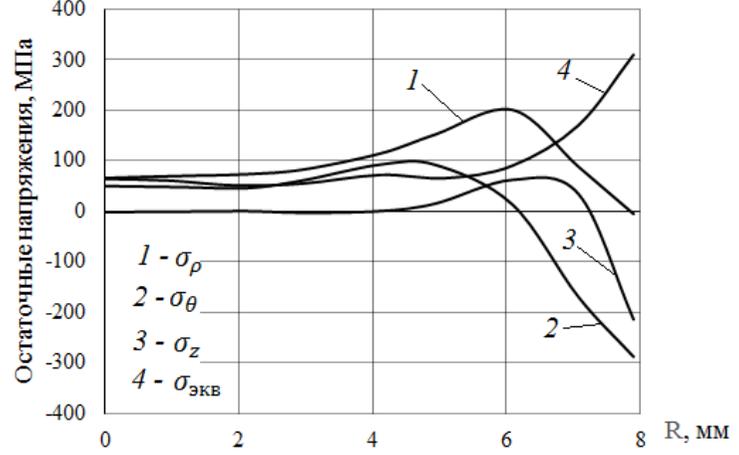


Рисунок 9 - Распределение остаточных напряжений в сплошном цилиндре после обкатки за два оборота

При обкатке втулок радиальные напряжения по всему сечению детали являются растягивающими и обращаются в нуль на поверхности. Тангенциальные и осевые напряжения являются сжимающими в периферийных слоях заготовки и у поверхности приобретают максимальное значение. На других втулках получено аналогичное распределение остаточных напряжений. Эквивалентные напряжения монотонно уменьшаются от поверхности к центру детали. Это хорошо согласуется с аналитическим расчетом остаточных напряжений в работе [7]. При разных значениях толщины стенки формируются максимальное растягивающее радиальное напряжение и максимальные сжимающие напряжения в тангенциальном и осевом направлениях. Результаты расчета показывают, что число оборотов втулки при обкатке почти не влияет на величину этих остаточных напряжений. В таблице 1 показаны максимальные остаточные напряжения в зависимости от толщины стенки при двух оборотах втулки.

Таблица 1 - Максимальные остаточные напряжения в зависимости от толщины стенки втулки

	t=4 мм	t=5 мм	t=6 мм	t=7 мм	t=8 мм
$\sigma_{\rho_{\max}}$, МПа	86	208	204	207	206
$\sigma_{\theta_{\max}}$, МПа	-204	-247	-281	-270	-280
$\sigma_{z_{\max}}$, МПа	-138	-213	-250	-247	-246
$\sigma_{\text{экв.макс}}$, МПа	280	318	320	320	315

Значения остаточных напряжения не значительно варьируются для разных толщин стенки. После обкатки во втулках формируется благоприятная схема остаточных напряжений. Известно [2-4], что сжимающие остаточные напряжения в осевом направлении способствуют повышению долговечности детали. Поэтому можно сделать вывод о том, что поперечной обкаткой целесообразно обрабатывать втулки со стенкой определенной толщины.

Методика выполнения экспериментов. Для оценки точности обработанной поверхности при различных значениях толщины стенки втулок был проведен эксперимент на лабораторном обкатном станке. Основным параметром эксперимента, влияющим на качество поверхностного слоя, принята толщина t втулки. В качестве показателей качества упрочнения рассмотрены: погрешность от круглости и параметр шероховатости (Ra).

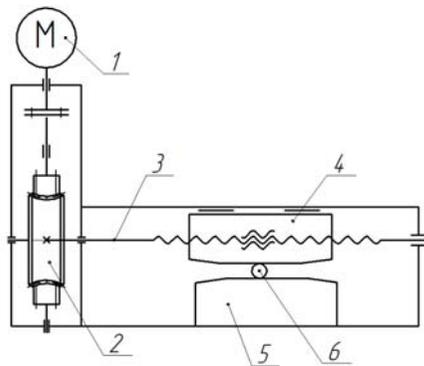


Рисунок 10 - Схема плоскообкатного станка
1 – электродвигатель, 2 – червячный редуктор, 3 – рабочий винт, 4 – подвижная плита, 5 – неподвижная плита, 6 – обрабатываемая деталь

Эксперименты выполнены на плоскообкатном станке (рис. 10), который работает следующим образом: Вращение от вала электродвигателя 1 передается через червячный редуктор 2, на рабочий винт 3. С помощью резьбового отверстия в подвижной плите 4, вращение винта 3 преобразуется в поступательное движение плиты 4. Плита 4 перемещается слева направо и реализует поперечную обкатку детали 6. Обратное движение подвижной плиты 4 в исходное положение осуществляется за счет реверсирования вращения электродвигателя 1. В средней части рабочих плит предусмотрен паз, позволяющий обрабатывать ступенчатые детали или использовать

этот необработанный участок для сравнения получаемых характеристик поверхностного слоя после обработки с исходными [8].

В качестве исследуемых деталей использовано семь партий цилиндрических втулок диаметром 16 длиной 65 мм из конструкционной углеродистой стали Ст45. Каждая партия, состоящая из трех втулок со стенкой толщиной соответственно от 2 до 8 мм. Все детали подвергались обкатке за два полных оборота перед выходом из зоны обработки.

Результаты экспериментальных исследований.

Оценка шероховатости обкатанной поверхности. После обкатки измерение параметров шероховатости выполнено на профилометре *Taylor Hobson Form Talysurf i200* с компьютерным управлением. Для каждой детали исходная и получаемая шероховатости измерены в трех разных местах по окружности. Средние значения из трех полученных измерений показаны на рис. 11.

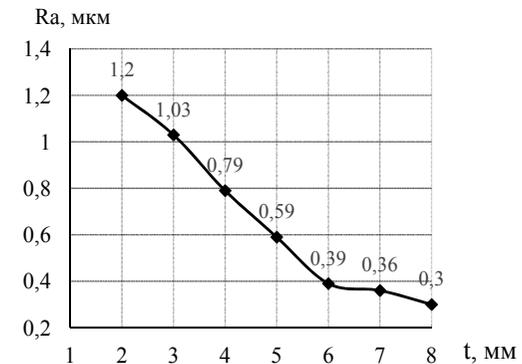


Рисунок 11 - Зависимость шероховатости обкатанной поверхности от толщины стенки валов

Исходная шероховатость поверхности деталей, полученная после полустого точения, достигает пятого класса (Ra 2,5 мкм). Поперечная обкатка позволяет существенно снизить шероховатость поверхности деталей. Когда толщины стенки превышает 4 мм шероховатость упрочненных втулок достигает седьмого класса (Ra 0,63...1,25) и когда толщины стенки больше 4 мм получается восьмой класс точности (Ra 0,16...0,32). При малых толщинах стенки, под действием радиальной нагрузки втулки сильно деформируются в различных направлениях и вследствие этого рабочее удельное давление уменьшается и не позволяет полностью деформировать поверхностный слой.

С помощью оптического профилометра *Bruker Contour GT-K1* можно получать трехмерные изображения больших полей поверхности с высоким разрешением. На рис. 12 показаны фрагменты поверхности втулки с отвер-

стием диаметром 4 мм перед и после обкатки. Поверхность, обработанная поперечной обкаткой, имеет сглаженный профиль шероховатости и увеличенные радиусы выступов и впадин. Видно, что глубокие риски устраняются после обкатки. В результате чего упрочненная поверхность обладает высокой опорной способностью за счет понижения концентрации напряжений во впадине.

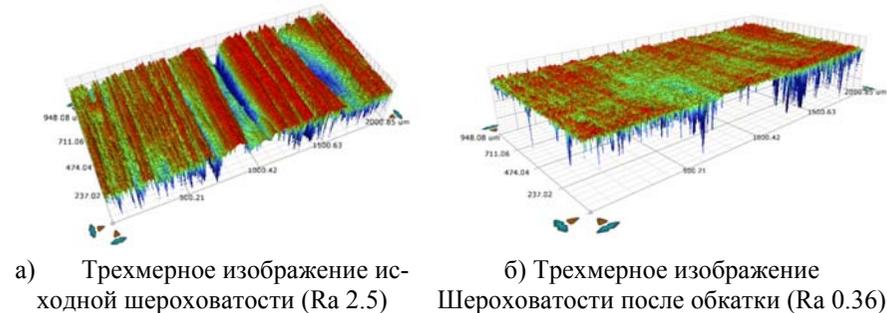


Рисунок 12 - Шероховатость поверхности после обкатки плоскими плитами

Оценка диаметрального размера. Отклонение от круглости деталей измерено портальной координатно-измерительной машиной (КИМ) CONTURA G2 с ценой деления 1 мкм. На рис. 13 показаны отклонения от круглости образцов после обкатки. Исходное отклонение от круглости партии деталей представляет около 40 мкм, что соответствует десятой степени точности. Отклонение от круглости увеличивается только при толщине стенки 2 мм.

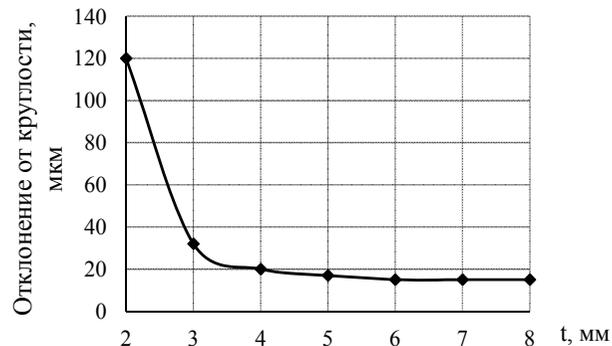


Рисунок 13 - Зависимость отклонения от круглости от толщины стенки

Выводы по работе

1. С помощью программы ANSYS рассмотрено напряженно - деформированное состояние втулок при поперечной обкатке. Полученные результаты позволяют рекомендовать толщину стенки втулок при поперечной обкатке, используемой в качестве методов поверхностного пластического деформирования.
2. Оценка напряженного состояния обкатанных втулок по напряжениям в цилиндрическом координате и эквивалентным напряжениям, наглядно показывают, что данный вид поверхностного упрочнения способствует формированию благоприятной схемы остаточных напряжений в поверхностных слоях втулок. Поэтому можно рекомендовать поперечную обкатку для получения качественных втулок с высокой долговечностью.
3. Экспериментальные исследования по оценке качества втулок после поперечной обкатки плоскими плитами показали благоприятные изменения в поверхностном слое деталей. При достаточной толщине стенки втулок обеспечивается хорошая чистота поверхности и высокая точность обработанной детали по размерам и форме.

Список литературы

1. Школьник, Л. М. Полюе валы и оси / Л. М. Школьник. - М.: Машиностроение, 1968. - 183 с.
2. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
3. Зайдес С.А., Забродин В.А., Мурашкин Г.В. Поверхностное пластическое деформирование. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ.2007. - 404с
4. Бойко Н.И. Ресурсосберегающие технологии повышения качества поверхностных слоев деталей машин: Учебное пособие для вузов ж. - д. транспорта. - М.: Маршрут, 2006. - 198 с.
5. Патент на изобретение № 2600302, МПК-B21H 39/04, опубликовано 20.10.2016.
6. Фам Дак Фьонг, Зайдес С.А., Нгуен Ван Хуан Определение условий поперечной обкатки при поверхностном пластическом деформировании // Вестник ИрГТУ. 2015. №4. С.48 – 52.
7. Зайдес С.А., Фам Дак Фьонг Поверхностное пластическое деформирование поперечной обкаткой плоскими плитами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. №5. С.6 – 12.
8. Зайдес С.А., Фам Дак Фьонг Оценка качества цилиндрических деталей после поперечной обкатки плоскими плитами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. №7. С.14 – 18.
9. Кожевникова Г.В. Теория и практика поперечно-клиновой прокатки. - Минск: Беларусь. Наука, 2010. - 291 с.
10. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / под общ. ред. Д. Г. Красковского. М: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.
11. Скопинский В.Н., Захаров А.А. Сопротивление материалов: Ч.2. М.: МГИУ, 2005. 165 с.

ПОЛУЧЕНИЕ БЕРЕЗОВЫХ ФАНЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ ПОСТОЯННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Замилова Алина Фанисовна, аспирант кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов

Пестова Наталья Александровна, магистр кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов

Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

В настоящее время изделия из клееной слоистой древесины занимают значительный место среди готовой продукции деревоперерабатывающих предприятий [1-4].

Основным показателем качества клееных изделий и, в частности, фанерных материалов является их прочность [4-6].

Для повышения прочности фанерных материалов модифицируют существующие технологии склеивания древесины, совершенствуют состав уже существующих смол, разрабатывают новые клеи с различными добавками [7-8]. Однако данные в настоящее время методы становятся все менее популярными, т.к. во многих случаях прочность не соответствует жесточайшим требованиям, предъявляемым к фанерным материалам.

В связи с вышеизложенным, все более интересными становятся методы повышения адгезионной прочности клееной древесины с использованием интенсивных технологий, к примеру, путем воздействия электрическими, магнитными полями, ультразвуком и др. [9-13].

Ранее проведенными исследованиями нами было установлено, что поляризация фанерных материалов улучшает гигроскопические свойства фанеры [5, 6].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния процесса поляризации березовых фанерных материалов (в процессе отверждения клеевой прослойки) и влияние поляризации только клея в постоянном электрическом поле на адгезионные свойства фанеры.

Экспериментальная часть

Объектами исследования в данной работе являются: березовый шпон (ГОСТ 99-96 «Шпон лущеный. Технические условия»), карбамидоформальдегидная смола марки КФ-Ж (ГОСТ 14231-88 «Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия»), поливинилацетатный клей марки ПВА-М (ТУ-2385-002-54824507-04), эпоксидная смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84 «Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия»), отвердитель для карбамидоформальдегидных смол - хлористый аммоний (ГОСТ 2210-73 «Аммоний хлористый технический. Технические условия») и отвердитель для эпоксидных смол марки Л-20 (ТУ 6-06-1123-98).

Изготавливались два вида образцов. Каждый лист шпона соединялся с соседними при соблюдении перпендикулярного направления волокон.

Первый вид фанерного образца. Для отверждения клея образцы помещались в термошкаф, нагретый до температуры 60-120°C (в зависимости от вида используемого клея), далее образцы с неотвержденной клеевой прослойкой устанавливались в поляризующие ячейки (рис. 1), которые в свою очередь еще являлись и прессами, создающими давление до 0,5 МПа. Затем всю получившуюся конструкцию погружали в верхнюю часть термошкафа, в нижнюю тем временем погружались контрольные заготовки пресс - ячейки. Поляризация фанерных образцов осуществлялась при напряжении 10 кВ и времени обработки 30-60 минут.

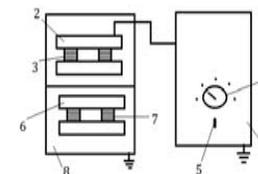


Рис. 1. Схема отверждающей и поляризующей установки: 1 – генератор высокого напряжения, 2 – отверждающая и поляризующая ячейка, 3 – поляризуемые образцы, 4 – регулятор подаваемого генератором напряжения, 5 – тумблер вкл./выкл. генератора, 6 – отверждающая ячейка, 7 – контрольные образцы, 8 – термошкаф

Второй вид образца. Емкость с клеем помещалась между поляризующими ячейками на 10 минут при напряжении 10 кВ, затем добавлялся отвердитель и осуществлялась склейка образцов. После склейки образцы помещались в термошкаф, отверждение осуществлялось при температурах, аналогичных для образцов первого вида.

Для проведения испытаний на скалывание (ГОСТ 9624-2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании») была необходима композиция, состоящая из пяти слоев шпона и четырех слоев клея. Березовый шпон нарезался на заготовки с геометрическими размерами 95×40 мм (рис. 2), в количестве пяти штук из расчета на один образец фанерного материала.

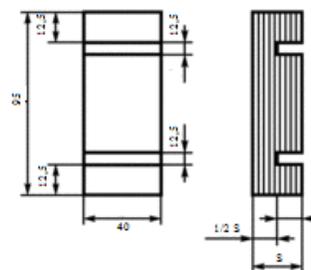


Рис. 2. Фанерный образец, выполненный по ГОСТ 9624 для испытания на скалывание

Испытания проводились на разрывной машине Т 42, соответствующей ГОСТу 28840–90. Предел прочности при скалывании $\tau_{ск}$ для каждого образца определялся с точностью до 0,5 МПа по формуле:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l}$$

где P_{max} – максимальное значение разрушающей нагрузки, Н;
 b – ширина образца (плоскости скалывания), мм;
 l – длина плоскости скалывания, мм.

Результаты и их обсуждение

Основным прочностным показателем фанерных материалов, показывающих прочность именно адгезионного сцепления «шпон-клей» является предел прочности при скалывании по клеевому слою. Полученные в процессе исследований результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний на прочность березовых фанерных образцов при поляризации клеевой прослойки в процессе отверждения и фанерных образцов с использованием поляризованных клеев

Фанерный образец	Предел прочности при скалывании $\tau_{ск}$, МПа		
	КФЖ	ПВА-М	ЭД-20
Контрольный образец	1,375	2,9	2,1
Поляризованный образец	3,3	3	4,3
Образец с поляризованным клеем	3	3,2	4,1

Из таблицы 1 видно, что поляризация в постоянном электрическом поле неотвержденной клеевой прослойки значительно лучше сказывается на повышении прочности березовых фанерных материалов не только в сравнении с контрольными образцами, но даже и с обработкой непосредственно самого клея.

Повышение прочности фанерных материалов за счет воздействия постоянного электрического поля можно объяснить структурными изменениями в полимерной матрице клеев, происходящими под ее энергетическим воздействием. Поляризация приводит к интенсивному упорядочиванию в расположении макромолекул полимера, сближению их между собой [16-17], формированию новых молекулярных связей в виде сшивок макромолекул [12].

Поляризация клеевой прослойки демонстрирует более высокие показатели прочности по сравнению с обработкой только клея, т.к. здесь имеет место комплексное воздействие постоянного электрического поля и на полимерный компонент клея, и на древесину березового шпона [10].

Заключение

Таким образом, поляризация березового фанерного материала с помощью постоянного электрического поля может позволить значительно повысить ее адгезионные свойства (повысить прочность сцепления соединения «клей-шпон»).

Предлагаемый прием получения фанерных материалов представляет практический интерес и может быть реализован в условиях производства.

Список литературы

1. Вольнский В.Н. Технология клееных материалов. – М.: Профи, 2009. – 392 с.
2. Васечкин Ю.В. Технология и оборудование для производства фанеры. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 310 с.
3. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит: Учебник для ВУЗов. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 234 с.
4. Фрейдин А. С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 224 с.
5. Попов В. М., Латынин А. В., Григорьев Д. С. Интенсивная технология создания клеевых соединений повышенной прочности на основе полимерных клеев, подвергнутых совместному воздействию физических полей // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 4. – С. 89-92.
6. Попов В.М., Новиков А.П., Иванов А.В. Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т.18, № 3. – С. 414-421.
7. Шамаев В.А., Разиньков Е.М., Ищенко Т.Л. Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 151 – 155.
8. Park, Byung-Dae Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – Vol. 108. – P. 2045–2051.
9. Попов В.М., Шендриков М.А., Иванов А.В., Жабин М.А. Влияние магнитного и электрического полей на прочность клееной древесины // Вестник МГУЛ «Лесной Вестник». – 2009. – № 4. – С. 122-126.
10. Попов В. М., Латынин А. В., Лушникова Е. Н. Клеевые соединения древесины повышенной прочности на основе магнитообработанных клеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2013. – № 5. – С. 293 – 296.
11. Мозговой Н.В. Прочность клеевых соединений древесины на основе электрообработанных клеев. // Научный журнал КубГАУ. 2012. – № 75 (01). – С. 1-10.
12. Попов В.М., Латынин А.В. Метод создания клееной древесины повышенной прочности // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4. – С. 145 – 151.
13. Mingxin Zhang, Jianwei Huang, Naiyan Wang. Modification of pine-wood/formaldehyde-urea resin composites using electron-beam radiation // Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 454. – P. 187 – 189.
14. Замилова А.Ф., Салдаева О.С., Галиханов М.Ф. Влияние поляризации фанеры в процессе приготовления на ее водо- и влагопоглощение // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, № 13. – С. 57-60.
15. Zamilova A. F., Galikhanov M. F. Influence of polarization of the walnut plywood in the process of preparation on its water and moisture absorption // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1767. – 020038.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СБОРКЕ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Зиёдуллаева Х.М., преподаватель

Каршинский агропромышленный колледж, Узбекистан

В данной статье рассматриваются способы сборки деталей машин а также технология изготовления, использование, применения резьбовых соединений

Резьбовыми называют соединения деталей с помощью резьбы. Они являются наиболее распространенным видом разъемных соединений. Резьбу имеют свыше 60 % деталей, применяемых в авиадвигателе. В конструкцию планера входит также большое число резьбовых деталей.

Резьбовые соединения - разъемные, собираемые с помощью резьбовых крепежных деталей. Основные термины и определения резьб и резьбовых соединений стандартизованы.

Резьба – поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности.

Применяется

- для устранения возможности перемещения соединяемых деталей;
- для удержания деталей на определенном расстоянии друг от друга;
- для обеспечения плотности стыка соединяемых деталей;
- для осуществления поступательного движения (пресса, домкраты, ходовые винты);
- для получения точных относительных перемещений (регулирующие винты).

В основе образования резьбы лежит принцип получения винтовой линии. Винтовая линия – это пространственная кривая, которая может быть образована точкой, совершающей движение по образующей какой-либо поверхности вращения, при этом сама образующая совершает вращательное движение вокруг оси.

Если в качестве поверхности принять цилиндр, то полученная на его поверхности траектория движения точки называется цилиндрической винтовой линией. Если движение точки по образующей и вращение образующей вокруг оси равномерны, то винтовая цилиндрическая линия является линией постоянного шага. На развертке боковой поверхности цилиндра такая винтовая линия преобразуется в прямую линию.

Если на поверхности цилиндра или конуса прорезать канавку по винтовой линии, то режущая кромка резца образует винтовую поверхность, характер которой зависит от формы режущей кромки. Образование винтового выступа можно представить как движение треугольника, трапеции, квадрата по поверхности цилиндра или конуса так, чтобы все точки фигуры перемещались по винтовой линии. В случае, если подъем винтового выступа на видимой (передней) стороне идет слева направо, резьба назы-

вается правой, если подъем винтового выступа идет справа налево – левой. Чаще всего используют правую резьбу. Левую резьбу применяют только в специальных механизмах. Если по поверхности перемещаются одновременно два, три и более плоских профиля, равномерно расположенные по окружности относительно друг друга, то образуются двух- и трехзаходные винты.

Каждая машина получается в результате сборки деталей, осуществляемых с помощью неподвижных и подвижных соединений.

Подвижные соединения обеспечивают движение одной детали относительно другой. Примером такого соединения можно привести соединение вала с подшипниками, суппорта токарного станка со станиной, зубчатое зацепление и др.

Неподвижные соединения жестко скрепляют две или несколько деталей например сварные, резьбовые и др.

Их применение обусловлено целесообразностью расчленения машины на узлы и детали для того, чтобы упростить производство, облегчить сборку и ремонта. В машиностроении принято термин «соединение» относить только к неподвижным соединениям.

По признаку разъемности все виды соединения можно разделить на неразъемные и разъемные [1]. К неразъемным соединениям относятся заклепочные, сварочные, клеевые и соединения с натягом.

К разъемным соединением относятся резьбовые, шпоночные, шлицевые и др. Первые частичного разрушения, вторые допускают многократную разборку и сборку без повреждения деталей.

Резьбовые соединения – это самый распространенный вид разъемных соединений. Они осуществляются с помощью крепежных резьбовых деталей как, шпилек, гаек, винтов и болтов, основным элементом которых является резьба [1]. Резьба получается прорезанием на поверхности стержня канавок при движении плоской фигуры- профиля резьбы по винтовой линии. Винтовую линию резьбы образует гипотенуза огибаемого вокруг прямого кругового цилиндра прямоугольного треугольника, один катет которого равен ρd_2 , второй R_h . Выступы, полученные на стержне между канавками, называют витками резьбы. Под витком резьбы принято понимать ту часть её выступа, которая охватывает резьбовую деталь в пределах до 360° .

Резьбовые соединения - разъемные, собираемые с помощью резьбовых крепежных деталей. Основные термины и определения резьб и резьбовых соединений стандартизованы.

Резьба – поверхность, образованная при винтовом движении плоского кон-

тура по цилиндрической или конической поверхности[2].

Применяется

- для устранения возможности перемещения соединяемых деталей;
- для удержания деталей на определенном расстоянии друг от друга;

- для обеспечения плотности стыка соединяемых деталей;
- для осуществления поступательного движения;
- для получения точных относительных перемещений .

Большинство деталей машин, механизмов, приборов имеют резьбу; кроме того, они оснащаются болтами, шпильками и другими резьбовыми деталями. От 25 до 40% трудоемкости сборки машин приходится на резьбовые соединения. В зависимости от условий эксплуатации машины к крепежу предъявляют следующие требования: высокий предел текучести, низкая чувствительность к концентрации напряжений, высокая жаропрочность и релаксационная стойкость, достаточная ударная вязкость, стабильность свойств при длительной эксплуатации, сопротивляемость задиранию, равный или близкий к материалу сопряженных элементов коэффициент линейного расширения.

Выносливость деталей крепежа определяется механическими свойствами материала, из которого он выполнен, конструкцией, термообработкой, методом изготовления резьбы и чистотой ее поверхности; сказывается также конструкция элементов соединения и масштабный фактор.

При сборке машин и их механизмов широко используются резьбовые соединения, но при этом целесообразно применять их по пределу выносливости. Необходимо при этом учитывать допусковую напряженность.

Список литературы

1. Фролов М.И. Техническая механика М.: Высшая школа 1990
2. <http://wikipedia.ru>

ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД С ПРИМЕНЕНИЕМ КРАУДСОРСИНГА КАК ИННОВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИН

*Зубрилина Елена Михайловна, к.т.н., доцент,
доцент кафедры «Управление качеством»*

Донской государственный технический университет

В статье изложена суть реализации проектного подхода с применением краудсорсинга как инновационной составляющей в преподавании дисциплин, на примере дисциплины «Основы теории эксперимента» для магистрантов направлений 27.04.01 «Стандартизация и метрология» программы «Метрологическое обеспечение технологических процессов и производств» и 27.04.02 «Управление качеством» программы «Управление качеством в производственно-технологических системах». Создание данного проекта обусловлено динамическим развитием университета и реализацией программы развития ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» на 2016-2020 годы, предусматривающей пересмотр традиционных форм обучения и внедрения инновационных составляющих. Это позволит интегрировать знания, сформировать дополнительно ряд компетенций и специальных навыков у обучающихся.

Магистратура – это ступенька в формировании магистранта, дающая возможность расширения и углубления знаний, умений, навыков и компетенций для успешной профессиональной деятельности и обучения в аспирантуре. Педагог в магистратуре должен не только транслировать знания, но и уметь моделировать процесс обучения, используя инновационные образовательные методики и технологии, направленные на развитие у магистрантов творческой составляющей, критического мышления, практико-ориентированных компетенций. Причем преподаватель должен умело сочетать традиционные методы обучения и интерактивные формы, позволяющие в ходе обучения осуществлять взаимодействия между студентом и преподавателем и между самими студентами.

В настоящий момент в ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» реализуется программа его развития на 2016-2020 годы, миссией которой является подготовка кадров, научно-технического потенциала и прорывных технологий, обеспечивающих устойчивое и опережающее развитие Юга России на основе интеграции образования, науки и производства. Стратегия развития ДГТУ предусматривает изменение в подходах к обучению в магистратуре и аспирантуре и это требует существенной трансформации и инноваций в обучении магистрантов. Создаются условия для проведения прорывных научных и научно-технологических исследований. Потому проектный подход в обучении сейчас актуален и требует корректировки методов обучения при реализации отдельных дисциплин магистратуры.

В основу проектного обучения будет положен цикл Деминга: цель – планирование – выполнение – контроль – корректировка – планирование – или же в случае соответствия фактических и плановых показателей завершение проекта. Предлагаемый мною проект посвящен применению инновационных подходов в преподаваемых мною дисциплин «Основы теории эксперимента», «Методология научных исследований в отрасли» и научно-исследовательской работе магистрантов, будет обеспечиваться их интеграция и «проникновение» друг в друга.

Общая трудоемкость дисциплины «Основы теории эксперимента» составляет 180 часов, из которых 54 ч. аудиторных и 90 ч. самостоятельной работы студентов. Традиционно аудиторные занятия формируются из лекционных и практических.

Лекционные занятия (18 ч.) излагаются в устной форме с применением презентационного материала (интерактивная форма), отдельные темы дисциплины («Проведение многофакторного эксперимента по плану Бокса-Бенкина» и др.) планируется представлять через мультимедийные презентации (видеопрезентации), что позволит визуализировать учебный материал, помочь студентам увидеть связи и отношения в объектах изучения, развить навыки обобщения, анализа, сравнения, наглядно показать процесс

проведения эксперимента в лабораторных условиях и конечный результат исследований.

Проведение практических занятий (36 ч.) планируется с использованием комплексного подхода: изучение методических материалов, получение индивидуального задания и его выполнение; интенсификация обучения путем интерактивности (разработка «программ-оболочек»); применение метода активного обучения - keis-study и метода проектного обучения.

Массив данных для расчета на практических занятия планируется получать экспериментальным путем (при выполнении самостоятельной работы) в лаборатории инженерного наставничества «Q-фактор» на приборах и оборудовании ее материально-технической базы, формирование которой сейчас осуществляется в рамках дорожной карты стратегического развития опорного вуза (ДГТУ). Это позволит формировать конкретные ситуации для реализации еще одного метода активного обучения - keis-study, который формирует знания, умения и навыки, необходимые в профессиональной деятельности; стимулирует аналитические способности (анализ литературных источников), поиск вариантов и оптимального решения поставленной задачи теоретическими методами, формирует готовность к решению профессиональных задач, проблемных ситуаций, повышает результативность процесса обучения; формирует навык работы в команде.

Проектный подход займет основную долю самостоятельной работы студентов (всего на нее отводится 90 ч. по учебному плану) и позволит развивать критическое мышление, творческий подход, самостоятельный анализ информации, создаст условия для инициативы.

Проведение самостоятельной работы (вне аудиторной) планируется в лаборатории инженерного новаторства кафедры «Q-фактор» по индивидуальным траекториям и при реализации проектного подхода (рисунок 1).

Проектный подход позволяет сразу реализовать несколько технологий и форм обучения: навыки коллективной работы; навыки общения; развитие исследовательских познаний (наблюдение, анализ, обобщение, постановка гипотез), системный анализ; интеграция знаний; индивидуализация процесса обучения; направленная дискуссия – активизирует мышление студентов и вовлекает их в процесс обучения; мозговой штурм – обеспечивает концентрацию на теме, поиск творческих решений и их вариабельность; демонстрация результатов – формирования навыков владения интерактивными приемами; ролевые игры – практический навыки применения теории; применение интернет-порталов.

С целью активизации студентов и мотивации их деятельности, по моему мнению, необходимо использовать их потенциал и их интересы. Студенты сейчас активно используют мультимедийное пространство, потому для решения проектных задач тоже приветствуется использование информации на интернет-порталах (www.edu.ru; www.wikipedia.org и др.), электронных научно-технических библиотек и др. Инновация - это применение краудсорсинга в решении задач проектного подхода, т.е. привлечение по-

тенциала и интеллекта научных групп людей, посредством интерактивного пространства, сбора этой информации, ее анализ и синтез лучших идей и практик для решения поставленных задач, принятие решений. В настоящее время есть примеры применения краудсорсинга в исследовательской деятельности как новой формы ее организации. Краудсорсинг обеспечит снижение издержек и придаст динамику исследовательской работе, как результат (там, где это возможно) вытеснит аутсорсинговые услуги [1,2].

Краудсорсинг позволит накопить данные и знания с привлечением больших групп «распределенных» добровольцев, сгенерировать идеи и решения. Уже признано, что массовая группа экспертов (даже экспертов среднего уровня) при определенных условиях за счет синергизма отдельных усилий достигает лучших результатов, нежели самый квалифицированный эксперт одиночка [3].

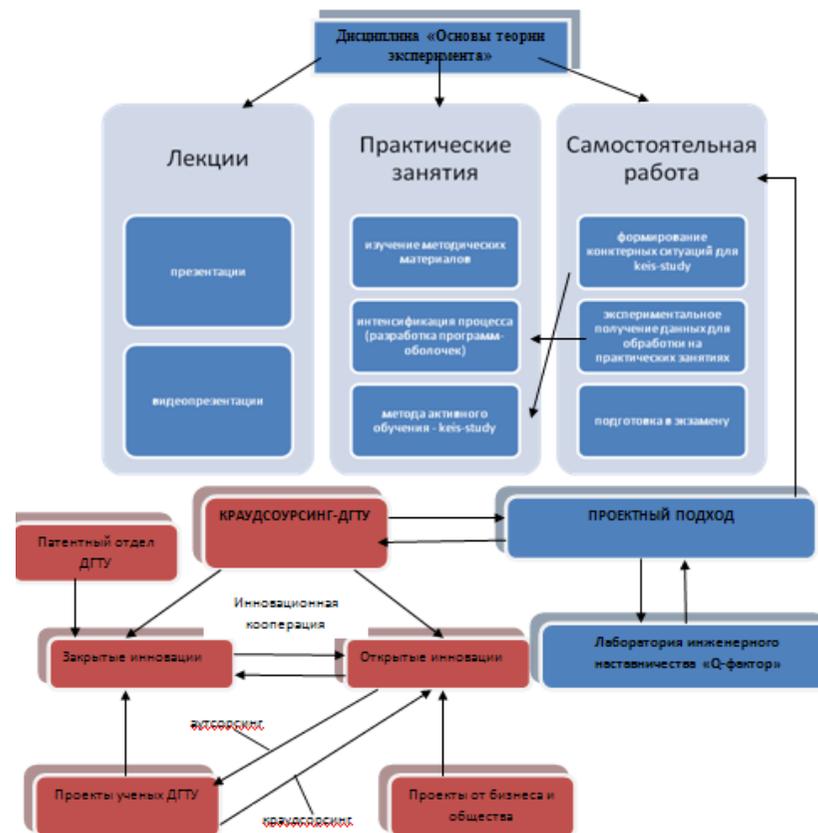


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема реализации проекта «Проектный подход с применением краудсорсинга как инновационная составляющая в преподавании дисциплин»

В мировом пространстве краудсорсинг получил широкое распространение и применение, характер научных краудсорсинговых проектов весьма разнообразен. Например, в проектах «простых операций» к удаленному выполнению рутинных и небольших по трудоемкости заданий при весьма скромном вознаграждении привлекают большое число исполнителей. Так, в проекте «Mechanical Turk» компании Amazon зарегистрировано более 400 000 постоянных «распределенных» работников, в основном, из стран третьего мира [4].

В краудсорсинге безусловно есть недостатки и места для совершенствования. Это проблемы мотивации, обеспечения достоверности результатов, контроля качества работ, проблемы отсева недобросовестных участников, а то и прямых вредителей. Эти проблемы найдут свое решение методом распределенного мозгового штурма. А в качестве эффективных инструментов мотивации участников станет система конкурсов внутри факультета с привлекательными и престижными призами [2,3].

Реализация проектного подхода позволит получить одновременно несколько компетенций: исследовательские, социального взаимодействия, оценочные, информационные, презентационные, рефлексивные, менеджерские [2,5]. Это обеспечит при реализации одного проекта сформировать компетенции нескольких дисциплин программы магистранта. В частности, по плану дисциплины «Основы теории эксперимента» у магистрантов 27.04.01 «Стандартизация и метрология» формирует одну компетенцию ПК-12, а у магистрантов 27.04.02 «Управление качеством» две: ОПК-6 и ПК-2, но реализация проектного подхода автоматически расширяет этот спектр: для магистрантов 27.04.01 – ОК-1; ПК-10; ОК-3; ПК-13; ПК-15; ПК-17; для магистрантов 27.04.02 – ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОК-5; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-2. Причем, часть этих компетенций полностью должна формироваться так же на дисциплине «Методология научных исследований» и при выполнении научно-исследовательской работе, т.е. мы при применении проектного подхода стираем границы между дисциплинами (т.е. обеспечивается междисциплинарность) и обеспечивает интеграцию знаний.

Список литературы

1. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/Краудсорсинг> [Электронный ресурс] / (дата обращения 20.12.16)
2. Чижов С.Ф. Краудсорсинг в управлении проектами и российские реалии его применения [Текст] / С.Ф. Чижов // Белгородский экономический вестник. 2015. № 3 (79). С. 94-99.
3. Юдина Е.Н., Захарова С.А. Краудсорсинг как новая технология научной деятельности [Текст] / Е.Н. Юдина, С.А. Захарова // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2015. № 7. С. 51-55.
4. Джефф Хау. Краудсорсинг. Коллективный разум как инструмент развития бизнеса — М.: «Альпина Паблишер», 2012. — 288 с.
5. Костенко А.Ф. Краудсорсинг в образовании и его применение в Российской Федерации [Текст] / А.Ф. Костенко // В сборнике: European Conference on Education and Applied Psychology Proceedings of the Conference 10th. 2016. С. 40-46.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПЕРЕНОСНОГО АППАРАТА ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ТОКОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

*Иванов Николай Иванович, к.т.н., доцент
(e-mail: ni1949@mail.ru)*

*Маслов Георгий Сергеевич, студент магистратуры
Шумаков Артем Александрович, студент магистратуры
Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Россия*

В данной работе рассмотрен подход к расчету основных параметров малогабаритного трансформатора для электросилового части клещей контактной сварки, питаемых от источника тока повышенной частоты.

Ключевые слова: контактная сварка, переносной аппарат, сварочный трансформатор, тороидальный магнитопровод, ток повышенной частоты, расчет трансформатора.

Всезрастающую потребность в высокотехнологичной сварке металлов относительно небольших толщин (до 1,0÷1,5 мм) и сечений (диаметром до 6 мм) во многих случаях индивидуального предпринимательства, малых предприятий бытового сервисного обслуживания и др. можно реализовать с помощью ручных переносных аппаратов для контактной сварки. К таким аппаратам, питаемым от бытовой электрической сети 220 В, предъявляются требования, ограничивающие потребляемую мощность, габариты и вес [1].

Важным обязательным узлом переносного аппарата, так же, как и любой стационарной контактной машины, является сварочный трансформатор. Он отделяет сварочную цепь от силовой сети, понижает напряжение до значения, необходимого для сварки, самостоятельно или в комплексе с дополнительными устройствами обеспечивает регулирование сварочного тока.

Во всех известных нам к настоящему времени переносных аппаратах в электросиловых цепях используются встраиваемые в клещи сварочные трансформаторы переменного тока частотой 50 Гц [2]. Методика расчета таких трансформаторов, используемых для контактной сварки током промышленной частоты, подробно рассмотрена в работе [3]. Такие трансформаторы в основном изготавливаются с использованием магнитопроводов броневого типа.

Достоинством конструктивного исполнения клещей с встроенным сварочным трансформатором является относительно небольшая потеря мощности во вторичном контуре, а недостатком – осязаемое увеличение массы клещей. Так масса клещей отечественного аппарата КБС-03 составляет не менее 12 кг, что предопределяет достаточно высокую трудоемкость их эксплуатации. Не существенно отличается в сторону уменьшения и масса

переносных аппаратов, выпускаемых зарубежными производителями – BLUEWELD Plus и TECNA (Италия), FOXWELD и BRIMA (Китай).

Значительно уменьшить массогабаритные характеристики клещей можно при использовании трансформатора, питаемого током повышенной частоты. В данной работе приведена методика расчета сварочного трансформатора для клещей бытового аппарата, конструкция которого приведена в работе [2]. Изготавливаемый на магнитопроводе тороидального типа трансформатор, с цилиндрической первичной обмоткой, питается током повышенной частоты (не менее 1000 Гц), что позволило уменьшить массу клещей до 7 кг.

Исходными данными для расчета трансформатора, полученными при расчете сварочного контура клещей переносного аппарата [4], являются: номинальный кратковременный ток во вторичном контуре $I_{2кр} = 2857$ А; полное сопротивление вторичного контура $Z = 1466 \cdot 10^{-6}$ Ом; частота тока инвертора $f = 1200$ Гц; напряжение питающей сети $U_1 = 220$ В.

Зная номинальный вторичный ток $I_{2кр}$, требуемый для нагрева деталей до сварочной температуры, а также полное сопротивление сварочного контура Z , определяем вторичное напряжение трансформатора, питаемого током повышенной частоты:

$$\begin{aligned} U_{20н} &= 0,5 I_{2кр} Z; \\ U_{20н} &= 0,5 \cdot 2857 \cdot 1466 \cdot 10^{-6} = 2,09 \text{ В} . \end{aligned} \quad (1)$$

Для трансформаторов с одним вторичным витком, питаемых от резонансного инвертора тока:

$$W_1 = 1,4 U_1 / U_{20} ; \quad (2)$$

где 1,4 – коэффициент, учитывающий повышение напряжения питания инвертора за счет накопления энергии конденсаторами выпрямителя.

$$W_1 = 220 \cdot 1,4 / 2,09 = 147,4 \approx 150 .$$

Так как количество витков является целым числом, то необходимо скорректировать значения вторичного напряжения:

$$U_{20} = 220 \cdot 1,4 / 150 = 2,053 \text{ В} .$$

Пренебрегая током холостого хода и считая, что сопротивление нагрузки не изменяется, номинальный первичный ток определяем через коэффициент трансформации по величине номинального вторичного тока:

$$I_{1н} = I_{2н} \cdot \frac{W_2}{W_{1н}} . \quad (3)$$

Примем для расчета сварочного трансформатора значение вторичного тока с запасом: $I_{2н} = 5000$ А, тогда

$$I_{1н} = 5000 \cdot \frac{1}{150} = 33,3 \text{ А} .$$

Сечение витков первичной обмотки рассчитывается по длительному току (при $PB = 100$ %), т.е. по эквивалентному току, при котором температу-

ра нагрева обмотки не превышает допустимой. Эквивалентный ток является расчетным:

$$\begin{aligned} I'_{1н} &= I_{1н} \cdot \sqrt{\frac{PB}{100}} ; \\ I'_{1н} &= 33,3 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{100}} = 5,26 \text{ А} . \end{aligned} \quad (4)$$

Расчет сечения провода для первичной обмотки проводится по формуле:

$$q_{1N} = \frac{I'_{1н}}{j_1} , \quad (5)$$

где j_1 – допустимая плотность тока для проводов первичной обмотки трансформатора.

Величина плотности тока j_1 выбирается в зависимости от материала провода, конструктивного выполнения обмотки, наличия охлаждения и класса изоляции. Выбираем для трансформатора с цилиндрической катушкой первичной обмотки, выполненной из медного провода, с медным вторичным витком, являющегося продолжением гибкого токопровода вторичного контура, не охлаждаемых принудительно, значение допустимой плотности тока – $j_1 = 2,0$ А/мм².

$$q_1 = \frac{5,26}{2} = 2,63 \text{ мм}^2 .$$

Первичную обмотку выполним круглым проводом марки ПСДК (ГОСТ 434-78), пропитанным кремнийорганическим лаком. Требуемый диаметр провода:

$$\begin{aligned} d_1 &= \sqrt{\frac{4q_1}{\pi}} ; \\ d_1 &= \sqrt{\frac{4 \cdot 2,63}{3,14}} = 1,83 \text{ мм} . \end{aligned} \quad (6)$$

Округляем значение d_1 до стандартной величины – 2,0 мм. С учетом толщины изоляции диаметр данного провода составляет 2,29 мм. Тогда уточненное сечение провода первичной обмотки составляет

$$q_1 = \frac{3,14 \cdot 2,29^2}{4} = 4,12 \text{ мм}^2 .$$

После определения сечения провода первичной обмотки определяем суммарное сечение обмоточного провода, необходимое для расчета площади окна сердечника трансформатора:

$$\begin{aligned} Q_1 &= W_1 q_1 , \\ Q_1 &= 150 \cdot 4,12 = 618 \text{ мм}^2 . \end{aligned} \quad (7)$$

Определяем требуемое сечение вторичной обмотки

$$q_2 = \frac{I_{2\partial n}}{j_2} \quad (8)$$

где j_2 – допустимая плотность тока вторичной обмотки (выбираем для трансформатора принятого нами исполнения $j_2 = 2,0 \text{ А/мм}^2$).

$$I_{2\partial n} = I_{2n} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}} \quad (9)$$

$$I_{2\partial n} = 5000 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{100}} = 790,5 \text{ , А .}$$

Вторичная обмотка представляет собой гибкий кабель из неизолированных проводов диаметром 0,2 мм, находящихся в единой изоляционной оболочке.

Определяем суммарное сечение неизолированных проводов по формуле:

$$S_{ж} = S_0 * n \text{ ,} \quad (10)$$

где S_0 – величина сечения одного неизолированного провода, мм;
 n – количество неизолированных проводов в гибком кабеле.

Определим величину сечения одного неизолированного провода

$$S_0 = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,03 \text{ , мм}^2 \text{ .}$$

Определим количество неизолированных проводов n

$$n = \frac{395,3}{0,03} = 13177$$

Определим диаметр жилы с учетом коэффициента заполнения кабеля $K_{зк}$

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{S_{ж}}{K_{зк}}}$$

где $K_{зк} = 0,7$.

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{395,3}{0,7}} = 26,8 \text{ , мм .}$$

С учетом внешней изоляции жилы, в качестве которой используется лента электроизоляционная типа ЛЭС (0,2 мм по одному слою), выполненной вполнахлеста, общий диаметр составляет 27,6 мм, т.е. площадь сечения вторичного витка будет равна 598,2 мм².

Определяем суммарное сечение первичной обмотки и вторичного витка:

$$q_{12} = Q_1 + q_2 \quad (11)$$

$$q_{12} = 618 + 598 = 1216 \text{ , мм}^2 \text{ .}$$

Активное сечение стали сердечника определяется по формуле:

$$S_{жс} = \frac{E_1}{4,44 f \cdot W_1 \cdot B} \text{ ,} \quad (12)$$

где E_1 – э.д.с. самоиндукции первичной обмотки, В;

W_1 – число витков первичной обмотки;

B – индукция, Тл;

f – частота, Гц.

При расчетах E_1 потерями в первичной обмотке трансформатора в режиме холостого хода пренебрегаем, поэтому $E_1 = 1,4 U_c = 308 \text{ В}$.

Индукция в сердечнике выбирается в зависимости от сорта электротехнической стали, режима работы трансформатора, его номинальной мощности и конструктивного оформления сердечника. Особенностью малогабаритных сварочных трансформаторов, работающих на токах повышенной частоты, является то, что индукция в магнитопроводе берется не выше 0,6÷0,8 Тл.

Тогда

$$S_{жс} = \frac{308}{4,44 \cdot 1200 \cdot 150 \cdot 0,8} = 481,7 \cdot 10^{-6} \text{ , м}^2 \text{ .}$$

Полное сечение сердечника определяем с учетом коэффициента заполнения K_3 , который показывает, какую часть геометрического сечения сердечника занимает активное сечение коэффициент K_3 зависит от толщины листов, от вида межлистовой изоляции и от других факторов.

Для лакированной стальной ленты:

$$K_3 = \frac{\delta_{жс}}{\delta_{жс} + 0,01} \text{ ,} \quad (13)$$

где $\delta_{жс}$ – толщина ленты, используемой для навивки кольцевого магнитопровода, мм.

$$K_3 = \frac{0,05}{0,05 + 0,01} = 0,83$$

Полное сечение сердечника:

$$S = \frac{S_{жс}}{K_3} \quad (14)$$

$$S = \frac{481,7 \cdot 10^{-6}}{0,83} = 580 \cdot 10^{-6} \text{ , м}^2 \text{ .}$$

Зная S и задаваясь отношением сечения железа магнитопровода $h/b_c = 1,5$, предварительно определим толщину h и ширину b_c тороидального сердечника:

$$b_c = 1,5 h \text{ ,} \quad (15)$$

Так как

то $S = b_c h$,

$$h = \frac{S}{b_c} , \tag{16}$$

или

$$h = \sqrt{\frac{S}{1,5}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,000580}{1,5}} = 0,0196 \text{ , м .}$$

Высоту магнитопровода, т.е. ширину ленты принимаем равной – $h = 20$ мм.

Площадь окна сердечника определяется суммарной площадью обмоток q_{12} , которые необходимо разместить в окне и коэффициентом заполнения окна $K_{зо}$:

$$S_o = \frac{q_{12}}{K_{зо}} . \tag{17}$$

Коэффициент $K_{зо}$ показывает, какую часть окна занимает обмоточный провод, его значение зависит от мощности трансформатора, от материала обмоток, класса изоляции и системы охлаждения. Для проектируемого трансформатора принимаем $K_{зо} = 0,43$.

Тогда

$$S_o = \frac{1216 \cdot 10^{-6}}{0,43} = 2828 \cdot 10^{-6} \text{ , мм}^2 .$$

Так как

$$S_o = \frac{\pi d_o^2}{4} ,$$

то

$$d_o = \sqrt{\frac{4S_o}{\pi}}$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 2828 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 0,06 \text{ , м .}$$

Следовательно, внешний диаметр сердечника составляет

$$D_o = d_o + 2 b_o , \tag{19}$$

$$D_o = 60 + 2 \cdot 30 = 120 \text{ мм .}$$

Рассчитываем потери мощности в обмотках при номинальном режиме работы.

Потери мощности в первичной обмотке:

$$P_{1т} = R_{1т} I_{1н}^2 , \tag{20}$$

где $R_{1т}$ – активное сопротивление первичной обмотки, Ом;

$I_{1н}$ – номинальный ток на первичной обмотке, А.

Активное сопротивление первичной обмотки определяем по формуле

$$R_{1т} = \frac{l \rho_T}{S} , \tag{21}$$

где l – суммарная длина первичной обмотки, м;

ρ_T – удельное сопротивление первичной обмотки, Ом*м ;

S – площадь сечения первичной обмотки, мм².

$$R_{1т} = \frac{18 \cdot 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,04 \cdot 100)}{3,14 \cdot 10^{-6}} = 0,14 \text{ , Ом .}$$

Тогда

$$P_{1т} = 0,14 \cdot 33,32 = 155 \text{ , Вт .}$$

Потери мощности во вторичной витке:

$$P_{2т} = R_{2т} I_{2кр}^2 , \tag{22}$$

где $R_{2т}$ – активное сопротивление вторичной обмотки, Ом;

$I_{2кр}$ – кратковременный ток на вторичной обмотке, А.

Активное сопротивление вторичной обмотки определяем по формуле

$$R_{2т} = \frac{l \rho_T}{S} , \tag{23}$$

где l – суммарная длина вторичной обмотки, м;

ρ_T – удельное сопротивление вторичной обмотки, Ом*м ;

S – площадь сечения вторичной обмотки, мм².

$$R_{2т} = \frac{0,174 \cdot 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,04 \cdot 100)}{395,3 \cdot 10^{-6}} = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ , Ом .}$$

Следовательно

$$P_{2т} = 10,8 \cdot 10^{-6} \cdot 5000^2 = 270 \text{ , Вт .}$$

Определяем КПД трансформатора:

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{U_1 \cdot I_{1н} \cdot \cos \varphi_1} , \tag{24}$$

$$\sum P = P_{1т} + P_{2т} + P_o , \tag{25}$$

где P_o – потери в сердечнике, Вт.

Так как потери в сердечнике очень малы, то ими можно пренебречь, тогда

$$\sum P = 155 + 270 = 425 \text{ , Вт}$$

и

$$\eta = 1 - \frac{425}{308 \cdot 33,3 \cdot 0,56} = 0,9$$

Характеристики изготовленного трансформатора, конструкция которого показана на рис. 1, хорошо согласуются с результатами выполненного расчета.

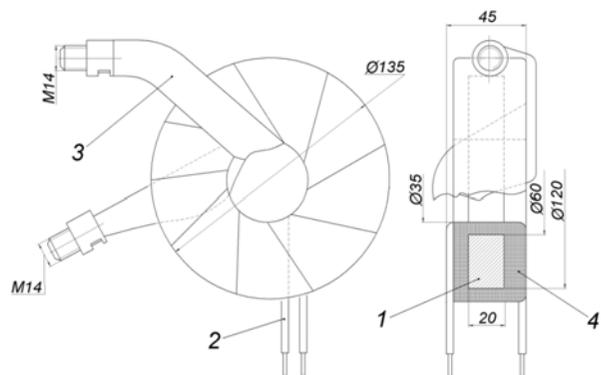


Рис. 1. Малогабаритный сварочный трансформатор с тороидальным магнитопроводом для переносного аппарата контактной сварки током повышенной частоты: 1 – тороидальный магнитопровод; 2 – выводы первичной обмотки; 3 – вторичный виток; 4 – цилиндрическая первичная обмотка

Список литературы

1. Иванов Н.И., Абышев К.И., Романенко Д.Н., Маслов Г.С. Разработка бытового аппарата для контактной сварки с инверторным источником питания // Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический журнал. 2016. № 1 (4). С. 71-75.
2. Иванов Н.И., Абышев К.И., Романенко Д.Н., Маслов Г.С., Дема Р.Р., Нефедьев С.П., Ярославцев А.В. Универсальный переносной аппарат контактной сварки с инверторным источником тока повышенной частоты / Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов / под ред.: М.А. Иванова, И.А. Ильина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 305-310.
3. Рыськова З.А., Федоров П.Д., Жимерева В.И. Трансформаторы для электрической контактной сварки. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 424 с.
4. Иванов Н.И., Маслов Г.С., Шумаков А.А. Проектирование вторичного контура бытового аппарата для контактной сварки // Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический журнал. 2016. № 1 (4). С. 76-82.

ОЦЕНКА ШИРИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛЕЙ

Ильенко А.А., Тоштилаев Ш., магистранты

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Проведены исследования влияния технологических параметров плазменного упрочнения на геометрические размеры дорожки упрочнения с использованием современных методов исследования.

Введение. Благодаря уникальным качествам сжатой дуги и плазменной струи как источника нагрева обрабатываемой зоны, плазменные технологии утверждаются в общем арсенале других методов поверхностной обработки металлов[1-3]. Плазменная струя и сжатая дуга обеспечивают не только тепловое, но и мощное силовое воздействие на зону обработки[3]. Удачное сочетание высокой мощности и концентрации энергии в сжатой дуге с возможностью использования широкой гаммы сварочного и вспомогательного оборудования, разработанного для дуговых способов обработки металлов, предполагает перспективность использования плазменных технологий для проведения поверхностного упрочнения различных деталей машин и инструментов[3]. В настоящее время разработан и успешно применяется ряд технологических процессов и установок, основанных на использовании низкотемпературной плазмы[1-3]. Использование плазменных технологий позволяет значительно повысить производительность процессов и получить ряд дополнительных преимуществ, например: финишное плазменное упрочнение позволяет на 50 - 100% продлить срок службы изнашивающихся деталей[3,4]; напыление поверхностных слоев деталей, работающих в сложных условиях, обеспечивает получение свойств не достижимых другими технологиями; плазменная сварка проникающей дугой позволяет повысить производительность в 1,5 - 2 раза при 100% качестве швов, снизить стоимость выполняемого погонного метра в 2 - 6 раз.

В тоже время надо признать, что теоретическим вопросам плазменного поверхностного упрочнения посвящено очень мало работ[5,6]. При этом арсенал технологий плазменного поверхностного упрочнения расширяется за счет разработки новых способов[7,8]. В данной работе представлены результаты исследования, плазменного поверхностного упрочнения с позиции оценки поведения и характера горения плазменной дуги в аргоне. Известно [3,9-11], что дуга является своеобразной газовой вставкой между электродами и как любой проводник взаимодействует с магнитными полями. При этом столб плазменной дуги можно рассматривать в качестве гибкого проводника, который под воздействием магнитного поля может перемещаться, как любой проводник, деформироваться и удлиняться [9-11]. Это приводит к отклонению дуги в сторону, противоположную большей напряженности. С технологической точки зрения, возможность управ-

ления плазменной дугой открывает большие перспективы для обработки протяженных поверхностей [3].

Методика эксперимента и материалы. На рис. 1 представлена фотография рабочего места лаборатории упрочнения и наплавки материалов в ИрННТУ. Данная лаборатория оснащена установкой для плазменного упрочнения и наплавки. В конструкцию данной установки входят несколько основных элементов выполняющих свою функцию. В установке можно выделить такие основные узлы как:

- рабочий орган (в качестве рабочего органа является источник питания плазмотрона, который производит упрочнение и наплавку поверхности);
- скоростная камера (позволяет фиксировать и следить за всеми процессами, протекающими в процессе горения дуги);
- фотокамера (позволяет фиксировать в цвете процесс формирования катодных и анодных пятен, а так же наблюдать за величиной зоны упрочнения, формированием сварочной ванны и характером горения дуги);
- осциллограф (позволяет снимать и строить графики напряжения и силы сварочного тока на протяжении всего процесса),
- в качестве перемещения использовалась специальная передвижная установка, обеспечивающая движения самого изделия относительно сварочной головки;
- для увеличения ширины зоны упрочнения применяется схема магнитного расширения (на основе катушки индуктивности переменного тока).



Рисунок 1 – Рабочее место исследования

Результаты исследований. В ходе исследования была выполнено плазменное упрочнение стали 45. Для определения ширины зоны упрочнения была проведена обработка поверхности сначала механическим способом (с помощью наждачной бумаги) и травление стали 5% раствором азотной кислоты в спирте. На рисунках представлены фотографии упрочненных поверхностей.

На рис.2 представлены фотографии поверхности, упрочненной на скорости– 11мм/сек при длине дуговым промежутке 3 мм после механической обработки и химическом травлении. В таблице 1 представлена ширина упрочненной зоны пластины.

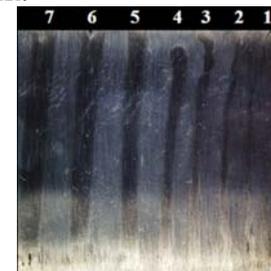


Рисунок 2 - Скорость сварки 11 мм/сек длина дуги 3 мм, после травления

Таблица 1 - Ширина зоны упрочненной пластинки, мм.

Участок упрочнения	1	2	3	4	5	6	7
		20А	30А	50А	70А	90А	110А
Начало	1,7	2,0	3,4	3,9	4,2	5,0	5,0
Среднее	1,0	1,5	1,8	2,7	3,8	4,6	4,8
Конечное	1,0	2,0	2,7	3,0	3,0	4,4	4,5

На рис.3 представлены фотографии поверхности, упрочненной на скорости– 11мм/сек при длине дуговым промежутке 8 мм после упрочнения ,а так же после механической обработки и химическом травлении. В таблице 2 представлена ширина упрочненной зоны упрочненной пластины.

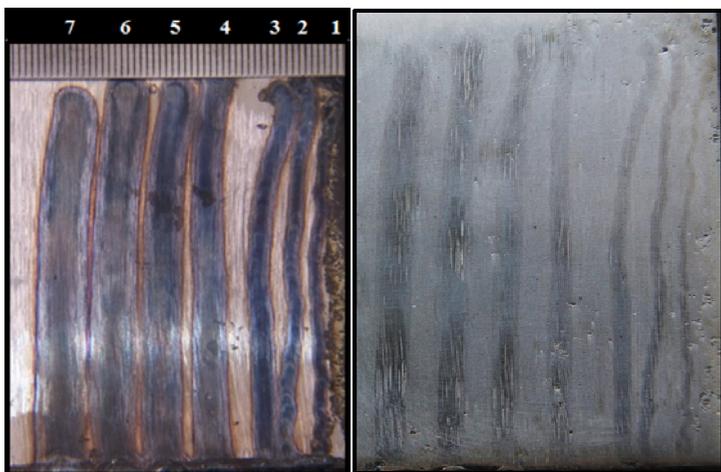


Рисунок 3 – Скорость сварки 11 мм/сек длина дуги 8 мм, пластина до и после травления

Таблица 2 - Ширина зоны упрочненной пластинки, мм.

Участок упрочнения	1	2	3	4	5	6	7
	20А	30А	50А	70А	90А	110А	120А
Начало	1,4	1,9	2	2,5	4	4,5	5,5
Среднее	1	1,3	2,2	3	3,5	4	4,3
Конечное	1,3	1,5	2,2	2,8	3,7	3,8	4,5

На рис.4 показана зависимость ширины дорожки упрочнения от мощности плазменной дуги при различной дистанции упрочнения (при скорости 3,5мм/сек). Видно, что с увеличением мощности и дистанции упрочнения ширина дорожки увеличивается.

Анализируя полученные результаты и сравнивая их с результатами работ[2,3] возможно сделать вывод о существенном вкладе в геометрические параметры дорожки упрочнения скорости и дистанции обработки.

В дальнейшем была проведена оценка роли катодных и анодных пятен плазменной дуги на формирование пятна нагрева по методике работ[12,14].

На рис. 5-7 представлены фотографии, полученные при силе сварочного тока 20-70 А. В ходе упрочнения было замечено, что дуга при токе 20А (рис.5) горит нестабильно, постоянно образуя точки с оплавлением в не зависимости от движения детали, при этом происходит удлинение дуги, обрыв и образования новой привязки, что не дает качественного упрочненного слоя. На рис.6 представлена дуга при силе тока 50 Ампер. В процессе упрочнения на данных параметрах наблюдалось стабильное горение сва-

рочной дуги, привязок с полным расплавлением не наблюдалось, недостатком при данных параметрах является небольшие отклонения. На рис.7 представлена дуга при силе тока 70 Ампер. В процессе упрочнения на данных параметрах наблюдалось стабильное горение сварочной дуги, привязок с полным расплавлением не наблюдалось, процесс упрочнения проходил без отклонений. При дальнейшем повышении силы тока до 90 А плазменная дуга горит без отклонений, обеспечена стабильность упрочнения.

Скорость упрочнения 3,5 мм/сек

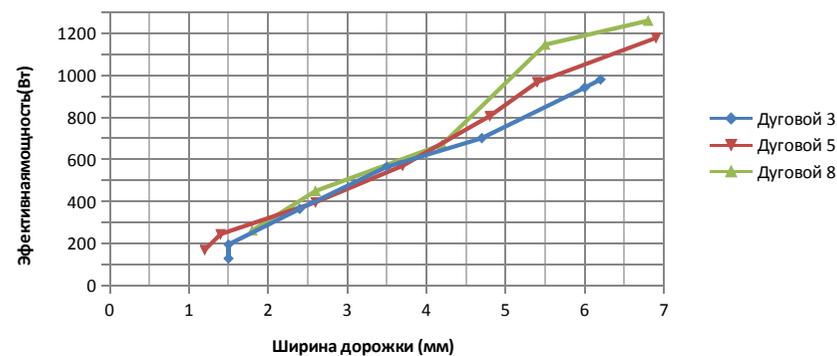


Рисунок 4 – Зависимость ширины дорожки упрочнения от мощности плазменной дуги при различной дистанции упрочнения (при скорости 3,5 мм/сек)

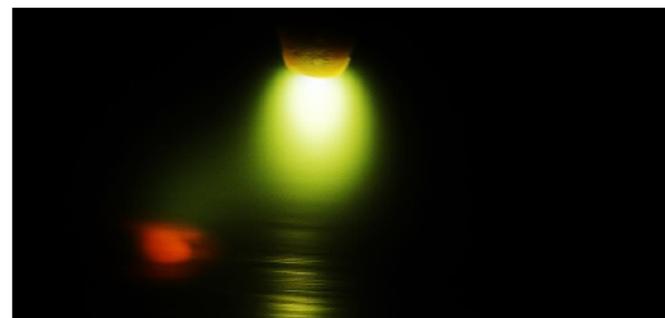


Рисунок 5 - Фото привязки дуги выполненного при силе тока дуги 20 А.



Рисунок 6 - Фото пятна нагрева выполненного при силе тока дуги 50 А



Рисунок 7 - Фото пятна нагрева выполненного при силе тока дуги 70 А

Визуализация пятна нагрева на поверхности металла согласно методики [3,14] позволило в дальнейшем оценить роль анодных и катодных пятен на формирования общего пятна нагрева в процессе плазменного упрочнения металлов. Установлено, что в зависимости от эффективной тепловой мощности плазменной дуги [3,4] существует несколько режимов горения плазменной дуги. Так например, при токе дуги 20 А на поверхности существуют несколько характерных анодных пятен [3,14] в виде правильных окружностей, которые по мере увеличения тока дуги стягиваются к центру общего пятна нагрева. В работе [14] показано, что пятно нагрева плазменной дуги имеет неоднородную по температуре топологию, что должно сказываться на эффективности ввода тепла в поверхностный слой металла. В наших экспериментах мы также фиксируем неоднородное распределение тепла по ширине упрочненной дорожки. В работе [12] показано, что катодные пятна могут осуществлять термическое воздействие на поверхность металла. В наших экспериментах катодные пятна группируются в границах пятна нагрева и по всей видимости относятся к пятнам 2 типа по классификации работы [13].

Таким образом, проведенные нами исследования показали важность таких технологических параметров как скорость и дистанция обработки

на ширину упрочненного слоя. Оценка роли анодных и катодных пятен требует дальнейшего продолжения работ с целью выявления, общих закономерностей формирования пятна нагрева при плазменном упрочнении.

Выводы

1. Установлено, что скорость и дистанция упрочнения влияет на ширину упрочненной зоны при плазменном поверхностном упрочнении металлов.

2. Выявлена область существования нескольких режимов плазменного упрочнения в общем пятне нагрева, для которых характерны как одиночные, так и групповые анодные пятна.

Список литературы

1. Лещинский Л.К., Самотугин С.С., Пирч И.И., Комар В.И. Плазменное поверхностное упрочнение. Изд-во: К.: Техника, 1990. 109с.
2. Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск, Металл, 1993. 144
3. Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. 180 с.
4. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор Ч.1)// Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. №12. С.18-30.
5. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 2)// Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. №1. С.25-34.
6. Балановский, А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов. Часть 3 : обзор // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 2. С. 20-30.
7. Ву Ван Гюи., Балановский А.Е. Пароводяная плазменная цементация в твердой фазе на установке MULTIPLAZ 3500// Инновации в науке 2015. № 51-1. С. 95-102.
8. Скрипкин А.А., Нецветаев В.А., Щербаков В.Е., Миненко Н.Ю. Получение теплоустойчивых слоев на стали 20 с использованием плазменного нагрева // Сварочное производство. 1992. № 11. С.15-17.
9. Лесков И.Г. Электрическая сварочная дуга. Машиностроение. М., 1970, с.335
10. Мазель А.Г. Технологические свойства сварочной дуги. М.: Машиностроение, 1969. 178с.
11. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
12. Балановский А. Е. Упрочнение поверхности катода при взаимодействии с катодными пятнами дугового разряда // ТВТ. 1993. № 2. С. 328—330.
13. Раховский В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. М.: Наука, 1970. 536с.
14. Балановский А.Е. Визуализация процесса нагрева и плавления металла в анодной области при дуговом разряде с неплавящимся электродом// ТВТ. 2016. Т.54. №5. С.663.

**ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО
МАТЕРИАЛА АРМИРОВАННОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ
ЧАСТИЦАМИ КАРБИДА ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕРМИТНОЙ СМЕСИ**

Ионов Максим Константинович, магистрант

Кузнец Елена Анатольевна, к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

В статье рассмотрена проблема синтеза ультрадисперсных частиц карбида титана в расплаве алюминия, а также современное состояние в данной области исследования. Предложен способ получения ультрадисперсного карбида титана в расплаве алюминия с помощью термитной смеси.

Огромный интерес со стороны науки в настоящее время проявляется к композиционным материалам на основе алюминия. Особенный интерес вызывают алюмоматричные композиционные материалы, армированные частицами тугоплавкой ультрадисперсной фазы карбида титана TiC. Большой интерес к карбиду титана вызван тем, что он обладает уникальными характеристиками: высокой удельной прочностью, твёрдостью, большим модулем упругости, повышенным сопротивлением износу, и т.д. Такие композиционные материалы могут применяться в качестве эффективных модифицирующих лигатур алюминиевых сплавов при небольшом содержании армирующей фазы, а при повышенном её количестве – в качестве дискретно-упрочнённых алюмоматричных композиционных материалов с высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств [1-3].

Композиционные материалы на основе алюминия, армированные дискретными частицами тугоплавкой фазы карбида титана Al-TiC могут изготавливаться различными методами, но лучшими технологиями их получения признаны жидкофазные способы [2, 4], т.к. они приводят к образованию сильной межфазной связи. Жидкофазное соединение компонентов композиционных сплавов может осуществляться двумя способами: введением готовых армирующих частиц в матричный расплав (ex-situ), и за счёт проведения химической реакции синтеза упрочняющих частиц непосредственно в расплаве (in-situ). Второй способ является более приоритетным, т.к. в таком случае обеспечиваются наиболее плотный контакт и хорошая адгезия между фазами композиционного сплава.

В настоящее время, методом in-situ удалось синтезировать сплав Al-TiC с массовой долей 10-15 % армирующей фазы TiC с характерным размером частиц 2-4 мкм [4].

Наибольший интерес представляет разработка приёмов повышения дисперсности армирующей фазы сплава, т.к. уменьшение размеров армирующих частиц должно приводить к увеличению модифицирующей способно-

сти и повышению уровня свойств композиционного сплава Al-TiC, а особый интерес представляет разработка приёмов получения наноразмерной фазы карбида титана в расплаве алюминия.

Востребованность композиционных сплавов, армированных наноразмерными частицами, можно объяснить уникальным повышением механических характеристик даже при малых объёмах вводимых наночастиц [5-8].

Основной проблемой получения наночастиц армирующей фазы в расплаве является необходимость создания условий, препятствующих их коагуляции. Как известно, температура среды оказывает прямое влияние на размер синтезируемых частиц. Повышение температуры интенсифицирует процессы коагуляции частиц. Соответственно снижение температуры среды синтеза высокодисперсной фазы предполагает формирование более мелкозернистой структуры.

Процесс синтеза карбида титана при получении композиционного материала Al-TiC при пониженной температуре печи (< 900 °C) проходит неустойчиво [9], и, возможно, начинается с образования интерметаллидной фазы TiAl₃ с большим выделением тепловой энергии и ростом температуры расплава. Этот энергетический импульс является необходимым условием для начала синтеза карбида титана TiC, т.к. реакция титана и углерода инициируется при температурах, близких к температуре плавления титана (1700 °C) [10]. В конечном продукте отмечается большое количество интерметаллидов, что отрицательно влияет на характер упрочнения алюминиевой матрицы [11]. Таким образом, можно сделать вывод, что для устойчивого прохождения реакции синтеза наноразмерного карбида титана необходим энергетический импульс извне при сохранении пониженной температуры расплава.

Такие особенности образования карбида титана в расплаве создают необходимость поиска новых методов его получения. Таким методом может являться синтез карбида титана в расплаве алюминия при пониженной температуре с помощью термитной смеси.

Для исследования были выбраны следующие реагенты: порошок титана (ТПП7), технический углерод (П700), алюминий чушковый (А7), порошок магния, порошок оксида никеля.

Дозировку компонентов шихты осуществляли с точностью 0,01 г. На лабораторных весах марки ВК-300, предназначенных для измерения массы с повышенной точностью. Смешивание исходной шихты проводилось в шаровой мельнице объёмом 1 л при соотношении масс шаров и шихты 3:1. Время смешивания составляло 3 часа.

Для создания условий высокой температуры в данной работе использовалась электрическая печь марки НАКАЛ-ПП 20, с максимальной температурой 1250 °C, напряжением 380 В, мощностью 12 кВт, массой 90 кг. Изготовитель ООО «Фирма Накал».

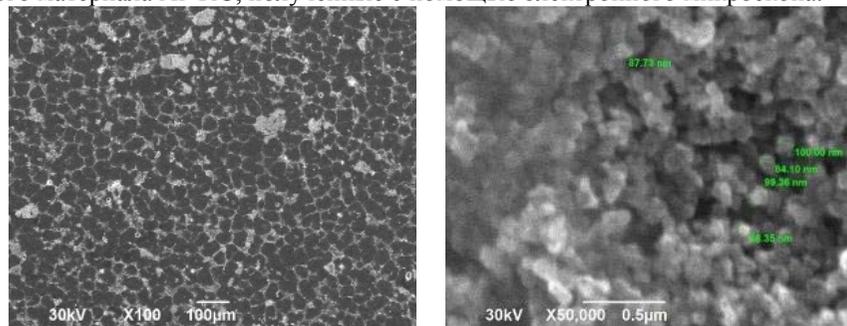
Процесс синтеза карбида титана в расплаве алюминия сводится к следующему. Смесь исходной шихты (порошка титана и сажи) в стехиометрическом соотношении компонентов готовится в шаровой мельнице. Для достижения максимально равномерного распределения компонентов время смешивания составляет 3 часа. Полученную смесь разделяют на части массой 5-7 г и заворачивают в алюминиевую фольгу. Электрическую печь нагревают до температуры 900-1000 °С и помещают в неё шамотный тигель, наполненный чушковым алюминием. После установления температуры расплава равной температуре печи под зеркало расплава погружают брикеты исходной шихты. После реакции синтеза, сопровождающейся вспышкой, расплав выдерживают 5 минут, при этом размешивая расплав металлической ложкой, а затем разливают по формам.

Для исследования полученных образцов использовались: дифрактометр ARL X'tra-138 фирмы Termo Scientific, растровый электронный микроскоп JSM-6390A фирмы «Jeol» с приставкой Jeol JED-2200.

Для исследования возможности синтеза наноразмерного карбида титана в расплаве алюминия с помощью термитной смеси проводили следующий опыт. В электрической печи в шамотном тигле расплавляли и нагревали 180 г алюминия до температуры 850 °С. Предварительно готовили стехиометрическую смесь порошков титана и углерода массой 20 г. К этой смеси добавляли гранулированную термитную смесь массой 0,2 г (1 % от массы исходной смеси). Полученную шихту делили на четыре части и заворачивали в фольгу для удобства ввода в расплав. Далее последовательно погружали брикеты шихты под зеркало расплава, размешивая их с помощью металлической ложки. После выдержки 30 секунд полученный расплав разливали в формы.

Далее полученные образцы исследовали на электронном микроскопе и дифрактометре.

На рис. 1 представлены фотографии излома полученного композиционного материала Al-TiC, полученные с помощью электронного микроскопа.



а) при увеличении x100

б) при увеличении x50000

Рисунок 1 - Внешний вид излома композиционного материала Al-TiC, полученного с помощью термитной смеси

По результатам микроструктурного анализа видно, что с помощью синтеза в расплаве алюминия при использовании термитной смеси удалось добиться мелкозернистой структуры материала и снизить средний размер зерна, а также удалось достигнуть нанодисперсности отдельных частиц армирующей фазы (87-100 нм).

На рис. 2 представлена рентгенограмма полученного образца.

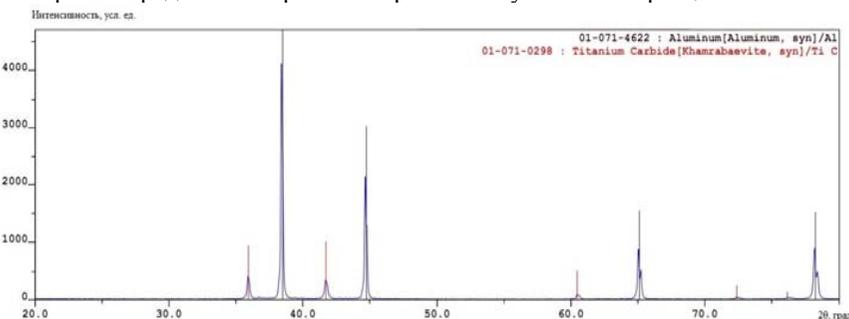


Рисунок 2 - Рентгенограмма образца Al-TiC, полученного с помощью термитной смеси

Рентгенограмма подтверждает наличие фазы карбида титана в полученном образце.

Таким образом, с помощью термитной смеси удалось синтезировать композиционный материал Al-TiC при пониженной температуре расплава с мелкозернистой структурой, а также достичь наноразмеров отдельных частиц армирующей фазы.

Список литературы

1. Vinod Kumar G.S. Development of Al-Ti-C grain refiners and study of their grain refining efficiency on Al and Al-7Si alloy [Text] / G.S. Vinod Kumar, B.S. Murty, M. Chakraborty // Journal of alloys and compounds, 2005. – № 396. – P. 143-150.
2. Михеев П.С. Дискретно армированные композиционные материалы системы Al-TiC [Текст] / П.С. Михеев, Т.А. Чернышова // Загот. пр-ва в машиностр., 2008. № 11. - С. 44-53.
3. Напалков В.И. Легирование и модифицирование алюминия и магния [Текст] / В.И. Напалков, С.В. Махов М.: МИСиС, 2002. – 376 с.
4. Луц А.Р. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез алюминиевых сплавов [Текст] / А.Р. Луц, А.Г. Макаренко // М.: Машиностроение. Самара: СамГТУ, 2008. - 175 с.
5. Casatti R. Metall Matrix Composites Reinforced by Nano-Particles [Text] / R. Casatti, M. Vedani – A Review // Metals, 2014. – Vol. 4. - P. 65-83.
6. Sanaty-Zadeh A. Comparison between current models for the strength of particulate-reinforced metal matrix nanocomposites with emphasis on consideration of Hall-Petch effect [Text] / A. Sanaty-Zadeh // Material Science and Engineering, 2012. – Vol. 531, P. 112-118.
7. Zhang Z. Consideration of Orowan strengthening effect in particulate-reinforced metal matrix nanocomposites: A model for predicting their yield strength [Text] / Z. Zhang, D.L. Chen. // Scripta Materialia, 2006. – Vol. 54.

8. Луц А.Р. Эксплуатационные характеристики наноструктурных алюмоматричных композиционных сплавов [Текст] / А.Р. Луц, И.Ю. Тимошкин, Е.И. Латухин // Взаимодействие науки и литейно-металлургического производства: сб. статей. Самара, 2016. - С. 200-205.

9. Кандалова Е.Г. Исследование закономерностей процесса свс в расплаве алюминия при получении композиционных сплавов Al-TiC [Текст] / Е.Г. Кандалова, А.Г. Макаренко, А.Р. Луц, А.В. Орлов // *Современные наукоёмкие технологии*, № 11, 2005. - С. 29.

10. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов [Текст] / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов // М.: Машиностроение-1, 2007. - 567 с.

11. Панфилов А.В. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы, армированные эндогенными и экзогенными керамическими и интерметаллидными фазами [Текст] / В.А. Кечин, А.В. Панфилов, А.А. Панфилов, Е.С. Прусов // Литейщик России, 2008. № 7. – С. 60-64.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ С ПОДПОЧВЕННЫМ АККУМУЛЯТОРАМ ТЕПЛА

Исаев Сайфулла Маматович, к.т.н., доцент

Рахимова Камола Каримовна, преп.

Каршинский транс. колледж

Шовалиев Баходир Хакназарович, преподаватель

Даминова Юлдуз Салимовна, преподаватель

Мирзаева Гулмира Махманазаровна, студент

Садыков Жамал Джаббарович, ст. преподаватель

Каршинский государственный университет, Узбекистан

В статье рассмотрено технология автоматического управления и регулирования температурно-влажностного режима гелиотеплицы с подпочвенным аккумулятором тепла.

Создание и реализации эффективных систем автоматического управления и регулирования температурно-влажностного режима гелиотеплицы требует решения вопроса разработки математической модели процесса тепло-и массообмена происходящего в сооружении как объекта автоматического управления.

Известно [1,2], что гелиотеплица является сложным объектом с распределенными параметрами, в котором одновременно протекают теплообменные и массообменные процессы.

Определение динамических характеристик объекта может быть достигнуто либо экспериментальным, либо аналитическим методом. Мы выбрали аналитический метод исходя из следующих соображений;

1. Ни в одной из функционирующих и рекомендуемых гелиотеплиц до сих пор нет даже неавтоматизированных устройств для поддержания необходимого микроклимата, принудительной вентиляции обогрева.

2. Число типов гелиотепличных построек весьма велика, причем типовые проекта отсутствует (строится преимущественно по индивидуальному заказу) и постройки имеют существенные различия (по конструкциям, по применяемым аккумуляторам тепла и т.д.). Эти различия в значительной мере определяют динамику объекта регулирования.

3. Аналитический метод позволяет получить динамические характеристики разработанной, но еще не построенной гелиотеплицы, а поэтому можно конструировать регулятор микроклимата одновременно с проектированием сооружения.

Динамические характеристики гелиотеплиц будем находить в форме передаточных функций. Подобная задача впервые применительна к гелиотеплице была решена в [4]. Однако в этой работе во-первых не учитывается такой важный параметр микроклимата как влажность, во-вторых для упрощения вывода и понижения порядка степени дифференциального уравнения описывающего теплообменные процессы гелиотеплицы, рассматривается как двухемкостный объект регулирования температуры. Не учтены такие особенности гелиотеплицы как:

а) гелиотеплица - это сооружение с интенсивным выделением водяных паров, он зависит от внутренней температуры;

б) сооружение имеет большую поверхность испарения воды из почвы, поступающей по отношению в микроклимату извне (полив и другие.);

в) при анализе динамики температурного режима гелиотеплицы недостаточно учитывать лишь теплоаккумулирующие свойства подпочвенного аккумулятора и внутреннего воздуха, как это принято в работе [3].

Ввиду того, что порядок дифференциального уравнения описывающего температуру воздуха в сооружении, определяется числом теплоаккумулирующих веществ, то порядок уравнения для гелиотеплицы данной конструкции нашего случая должен быть равен шести (если учесть теплоемкость внутреннего воздуха, водяного и подпочвенного аккумулятора тепла, почву, растительного покрова и светопрозрачного ограждения).

При выводе дифференциальных уравнений объекта регулирования примем следующие упрощения:

1. Гелиотеплица является объектом с распределенными параметрами. Но, как показал анализ, ее можно описать дифференциальными уравнениями в обыкновенных производных в сочленении со звеном чистого запаздывания. Так как время по сравнению временем переходного процесса объекта составляет ничтожную долю, то его влиянием (без ущерба для расчета) можно пренебречь ($\tau_i = 5 \div 10$ мин., $t_{\text{зад}} = 100 \div 120$ мин.). Кроме того, воздух внутри гелиотеплицы хорошо перемешается, т.е. разностью температур и

относительных влагосодержаний в различных точках пренебрегаем (объект с сосредоточенными параметрами).

2. При теплообмене величина относительного влагосодержания внутреннего воздуха величина постоянная (это соответствует случаю, когда в гелиотеплице работает регулятор относительного влагосодержания воздуха). При массообменном процессе температура внутреннего воздуха принимается неизменной, что соответствует работе регулятора температуры.

В результате такого единого подхода температурно-влажностного режима парагазовой смеси получим процессы изменения температуры и относительной влажности, независимые друг от друга, для которых находятся передаточные функции.

Как было отмечено выше, в сооружении имеют место шесть емкостей способных аккумулировать тепловую энергию. Но во многих практических расчетах энергетического режима гелиотеплиц теплоаккумулирующими способностями светопрозрачного ограждения пренебрегают из-за ее относительно незначительностью по сравнению с другими емкостями сооружения. Мы тоже будем придерживаться этой точки зрения, и исключаем из рассмотрения поглощательную способность тепла светопрозрачных ограждений, тогда в нашем случае в сооружении будут пять емкостей-аккумуляторов тепловой энергии, и соответственно при составлении дифференциального уравнения сооружения (гелиотеплицы) в целом для каждой из них составляем уравнения теплообмена. При этом учитываем следующие факторы:

- а) поступление тепла за счет радиации;
- б) тепловыделение почвы;
- в) теплопотери через светопрозрачные ограждения;
- г) теплопотери с рециркулируемым воздухом;
- д) затраты тепла на испарение влаги с почвы и растительности.

Там же приводится тепловой баланс каждого теплоаккумулирующего элемента. Он включает поступление тепла от внутреннего воздуха, потерю тепла в процессе теплопередачи и аккумуляцию тепла водяным и подпочвенным аккумуляторами.

Список литературы

1. Байрамов Р.Б., Рыбакова Л.Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве. Ашхабад, 1983 г., 85 с.
2. Вардияшвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных солнечных теплицах с субстратом и аккумуляцией тепла. Ташкент, Фан, 1990 г., 194 с.
3. Исаев С.М. К вопросу аналитического определения удельного влагосодержания воздуха гелиотеплицы. Сб.научно-теоретической конференции в честь 600-летия Мирзо Улугбека. Карши., 1994 г. Т.4., 28-32 с.
4. Хайриддинов Б.Э., Исаев С.М., Аширбаев М.У. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. // Гелиотехника. 1990. №5. 80-83 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АСФАЛЬТОБИТУМА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ФНПЗ

*Исмаилов Бобурбек Махмуджанович, магистрант
Умарова Муаттар Бахтияровна, ст.преподаватель
Жураев Вайс Нарзуллаевич, ст.преподаватель
Ташкентский химико - технологический институт,
г.Ташкент, Узбекистан*

В последние годы растёт добыча высокопарафинистых, высоковязких, тяжёлых нефтей. Переработка такого нефтяного сырья сопряжена со значительными затратами, обусловленными увеличением доли вторичных процессов для получения качественных нефтепродуктов. Ежегодно существенно увеличивается доля автомобильного транспорта в общем объеме грузоперевозок, в связи с чем возросла актуальность строительства новых и ремонта существующих дорожных покрытий, для производства которых необходимы качественные связующие.

Совершенствование процесса получения дорожных битумов из высоковязких и тяжелых нефтей является на сегодняшний день важной задачей. Известно, что большое содержание парафиновых углеводородов отрицательно влияет на качество битумов. Получаемый битум характеризуется, в частности, пониженной растяжимостью и неудовлетворительными низкотемпературными свойствами. Поэтому остатки атмосферно-вакуумной перегонки высокопарафинистых нефтей практически не пригодны для получения качественных дорожных битумов по традиционной технологии, основанной на окислении нефтяных остатков. Необходимость разработки технологии получения дорожных битумов из высокопарафинистого сырья требует поиска новых, нетрадиционных условий и способов подготовки сырья. Нефти малосернистые и весьма высокопарафинистые и состоят почти на 50 % мас. из тяжелых фракций, выкипающих выше 450 °С. Вследствие низкого качества не определены рациональные направления их переработки. В связи с этим высоко актуальна разработка способов получения битумов из остатков высокопарафинистых нефтей, позволяющих вовлекать в переработку парафиновые углеводороды остатков, т.е. превращать их в реакционно-способные соединения. Разработка способов снижения содержания n-алканов в нефтяных остатках путем их химической модификации в соединения, пригодные для производства дорожных битумов. В первую очередь представлялось целесообразным расширить возможности получения битума из парафинистого сырья, вовлекая в процесс сам парафин, то есть, превращая алканы в более реакционно-способные соединения. Возможности такой модификации алканов были изучены на модельном парафине. Реакции проводили в смеси парафина и активаторов с добавлением серы и азотистых соединений – мочевины и неозона-Д (фенил-β-нафтиламина).

Эксперименты по модификации нефтяных остатков, выкипающих выше 450°C, проводили в мягких условиях. Нефтяные остатки после модификации окисляли кислородом воздуха в режиме постоянного перемешивания в лабораторном реакторе при температурах 190 – 220 °С и расходе воздуха 3 л/мин на 1 кг сырья. Эксперименты проводили по схеме, приведенной на рис.1.

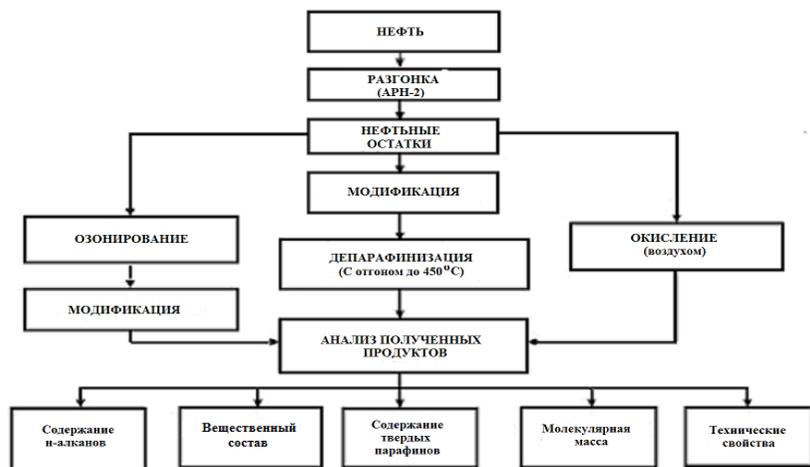


Рисунок 1 - Схема экспериментов по превращению высокопарафинистых нефтяных остатках в битумное сырье

Битумы являются дисперсной системой – суспензией, в которой дисперсной фазой являются асфальтены, а дисперсионной средой – мальтены (смесь масел и смол). По современным представлениям, асфальтены как твердые частицы представляют собой ассоциированные полициклические молекулы гибридного строения, в которых содержатся хотя бы три ароматических или гетероароматических кольца. Энергия межмолекулярного взаимодействия в таких ассоциатах настолько велика, что превышает энергию внутримолекулярных связей. При нагревании асфальтены часто не переходят в жидкое состояние, а разлагаются с выделением летучих продуктов. Асфальтены, как твердая фаза, встречаются в большинстве нефтей в незначительном количестве, порядка нескольких процентов. В процессе атмосферной и вакуумной перегонки смолистых нефтей в гудроне скапливается значительное количество асфальтенов, которые способны структурировать его до состояния битумов дорожных марок. Для получения необходимого количества асфальтенов, как дисперсной фазы, способной обеспечить требуемую структуру битума на практике прибегают к процессу окисления гудрона воздухом.

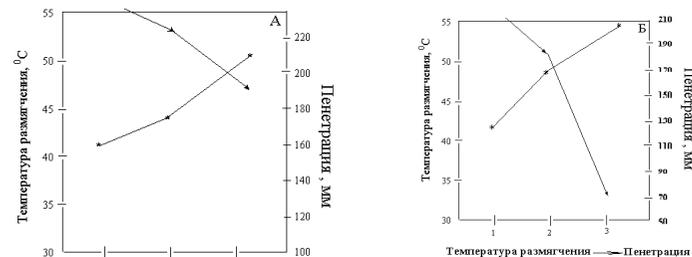


Рисунок 2 - Зависимость изменения технических свойств полученных продуктов от модификации и окисления при 250°C

Технические показатели продуктов, полученных окислением при 190 °С изменяются меньше из-за меньшей скорости их окисления по сравнению с реакцией при 250°C. Вводимая сера, распределяясь в смолистой части битума, которая играет роль пластификатора, увеличивая растяжимость от 0 до 7 см при 25°C. После окисления остатка показатель пенетрации уменьшается до 75 мм и резко повышается температура размягчения, т.е. структурно-механические свойства битумов улучшаются благодаря увеличению содержания смолистых веществ. Таким образом, взаимодействие с элементарной серой приводит к изменению качественных характеристик как дисперсионной среды, так и дисперсной фазы нефтяных остатков, что отражает пластифицирующее действие сернистых соединений на остатки. Для получения кровельных битумов необходимо использовать сырье, содержащее достаточное количество парафино-нафтеновых (масляных) углеводородов и меньше смол и асфальтенов. Поэтому в технологии получения кровельных битумов проводится специальная подготовка сырья с вовлечением масляных компонентов, например вакуумного газойля, который является ценным сырьем установок каталитического крекинга. Высокое содержание парафино-нафтеновых углеводородов в составе нефтяного остатка нефти позволило получить при их окислении кровельный битум. При окислении осерненного остатка было получено вязущее, по характеристикам соответствующее требованиям ГОСТ 9548-74 на кровельный битум марки БНК-45/190. Для интенсификации процесса окисления в остатки добавляли элементарную серу и торф, богатый азоторганическими соединениями. Азот и кислород-содержащие компоненты торфа, как добавки, улучшающие адгезионные свойства битумов и ускоряющие окисление. Важными для производства битумов являются азотсодержащие вещества, склонные к образованию ионных, донорно-акцепторных и водородных связей и входящие в состав смолистых компонентов битумов и торфа. При увеличении количества гетероатомных соединений, в частности азотистых, битум становится более пластичным, повышается его растяжимость. Модификацию нефтяных остатков проводили в присутствии K₂S₂O₈, кроме того, в реакционную смесь добавляли элементарную серу и торф. Содержа-

ние азота в торфе составляет 0,65 % мас. причем азотистые компоненты имеют в основном аминный характер. Процесс модификации проводили в условиях ступенчатого повышения температуры реакции. На первой стадии модификацию остатков серой вели в присутствии 1 % $K_2S_2O_8$ при 170 °С в течение 4 час. На второй стадии к сырью добавляли 2 % мас. торфа и нагревали смесь при 200 °С в течение 2-х часов. На последней стадии проводили окисление кислородом воздуха при 220 °С в течение 1,5 час. Этот процесс окислительного дегидрирования, протекающий при температуре 240-280 °С и расходе воздуха 4–5 м³/м² мин процесса заключается в получении из ароматических масел молекул асфальтенов, способных к ассоциации с образованием твердой фазы. Скорость получения асфальтенов намного превышает скорость их ассоциации до образования частиц твердой фазы путем диффузии. Поэтому непосредственно после завершения процесса окисления битум содержит значительное количество отдельных молекул асфальтенов или ассоциатов, не достигших размеров частиц твердой фазы. Основными факторами процесса окисления являются температура, расход воздуха и давление. Чем выше температура окисления, тем быстрее протекает процесс. Но при слишком высокой температуре ускоряются реакции образования карбенов и карбоидов. Остатки, полученные из высокосмолистых асфальтовых смешанных нефтей, окисляют при 250-280 °С, остатки парафинистых нефтей при 270-290 °С. Чем больше вводится в сырье воздуха, тем меньше требуется времени для его окисления. При окислении большой подачей воздуха необходимо выводить тепло из реакционного пространства. Для процесса окисления характерны реакции дегидрогенизации, приводящие к образованию водяных паров. На это расходуется значительная часть кислорода, вводимого с воздухом. Общий расход воздуха зависит от химического состава сырья, а также от качества получаемого битума и составляет 50-400 м³/т битума изучено влияние добавления серы и повышения температуры на процесс окисления нефтяных остатков. При добавлении серы в нефтяные остатки содержание н-алканов в полученных продуктах уменьшается на величину, вдвое большую, чем при окислении без серы. После окисления остатков нефтей в присутствии инициатора с добавлением серы при 190 °С содержание н-алканов уменьшается на 33 и 20,2 % мас., а при 250 °С на 56,3 и 39,7 % мас. соответственно.

Видно, что при 190 °С процесс модификации проходит менее эффективно. При модификации при 250 °С значительно меняется состав остатков, интенсивнее идут процессы превращения парафиновых углеводородов и образования смолистых веществ. После окисления остатков нефтей содержание в них смолистых соединений повышается соответственно в 2 и 1,5 раза, а количество твердого парафина уменьшается на 14,5 и 28,7 % соответственно н-алканы в обоих остатках, окисленных в присутствии активатора, серы и азотистых соединений отсутствуют. Это подтверждает, что торф как поставщик азотистых соединений способствует интенсификации процесса окисления остатков. С ростом температуры окисления темпера-

тура размягчения остатков повышается, причем зависимость температуры размягчения от температуры окисления носит линейный характер, наблюдается тенденция к резкому снижению показателя пенетрации, т.е. структурно-механические свойства битумов улучшаются благодаря увеличению содержания в нем смолистых веществ.

Таблица 1 - Изменение группового состава и физико-химических характеристик нефтяных остатков после окисления при разных температурах и добавлении серы

Наименование показателей	Значения для							
	остатка нефти после окисления при T ⁰ С				остатка нефти после окисления при T ⁰ С			
	190 ⁰ С		250 ⁰ С		190 ⁰ С		250 ⁰ С	
	Без серы	С серой	Без серы	С серой	Без серы	С серой	Без серы	С серой
Содержание, % мас.:								
масел	81.3	75.7	75.4	60.1	70.5	65.1	68.5	62.3
смола	14.5	15.9	15.5	24.7	28.3	32.7	29.5	35.3
асфальтенов	4.5	8.4	7.6	14.4	1.5	2.2	1.9	2.6
н-алканов	5.8	4.3	5.2	2.8	4.9	4.5	4.8	3.4
Технические свойства:								
температура размягчения (КиШ), °С	44	47	44	50	47	50.1	47	52.5
Глубина проникновения иглы при 25 ⁰ С мм	220	200	220	174	180	170	180	75
Дуктильность, при 25 ⁰ С, см	-	0	-	5	-	5	-	7
индекс пенетрации	-	1.2	-	1.4	-	1.4	-	0.2

Выполненные исследования показали принципиальную возможность перевода компонентов нефтяных остатков, в том числе парафинов, в серу и кислородсодержащие соединения, т.е. увеличения количества смолистых веществ в битумах. В углеводородных средах с испытанными инициаторами активаторами проходят реакции превращения н-алканов и присоединения образующих радикалов, соли инициируют и ускоряют протекание реакции. Это позволяет утверждать, что в углеводородной среде алканы можно вовлечь в реакции модификации и окисления в присутствии инициаторов-активаторов по радикальному механизму.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Исмойилов Ф.Б., Сариев Р.Б.

Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан

В данной статье приведены материалы по выявлению технического состояния и выбора оптимального способа восстановления деталей технологических машин.

Ключевые слова: техническое состояние, дефектоскопия, способы восстановления, плазменная обработка.

Эффективность производства во многом зависит от технического состояния оборудования. Работоспособность машин поддерживается с помощью ремонта и технического обслуживания, основанных на планомерных профилактических мероприятиях, предупреждающих возникновения неполадок, быстрое изнашивание, поломки деталей и механизмов.

Понижение работоспособности технологических машин характеризуется систематическим появлением брака, уменьшением производительности, увеличением расхода электроэнергии, возникновением специфических шумов и пр. Износ деталей и их сочленений является причиной неполадок в машинах.

Выявление и оценка технического состояния машины и ее элементов, т.е. диагностирование является составной частью технического обслуживания и ремонта. Техническое состояние – это совокупность свойств машины, механизма, узла и деталей, которые характеризуется в определенный момент времени установленными параметрами.

Во время работы машины чаще всего выявляются такие, например, неисправности деталей и узлов, как стуки, удары, ненормальный шум, качка, биение, износ и пр. Эти неисправности можно обнаруживать органолептическими и инструментальными способами. Величина и характер износа, прогибов, трещин и другие инструментальным способом определяется после разборки машины.

Биение, износ, коррозию, большие внешние трещины, ослабление креплений, увеличение зазоры в сочленениях, течь масла через неплотности, чрезмерное осевое смещение и прочие дефекты можно выявить визуальным способом, т.е. осмотром и ощупыванием.

Акустическим способом обнаруживания неисправностей, т.е. прослушиванием можно выявить ненормальные стуки и шумы, свидетельствующие о нарушениях в сочленениях машин. Прослушивать можно специальными приборами, например, стетоскопами.

Но органолептические способы оценки состояния деталей и сочленений требуют соответствующих навыков, которые приобретаются годами. Даже при наличии таких навыков органолептическая оценка остается

субъективной и может служить лишь как ориентировочная. В современной ремонтной технологии нужно применять чаще всего инструментальные методы диагностирования технического состояния машины.

Существуют разные инструментальные способы выявления дефектов в сочленениях. Производимый при работе шум и температура трущихся деталей являются наиболее типичными признаками, по которым можно судить о состоянии в сочленений в машине.

Исследованиями удалось установить, что между восприятием звука на слух, записями приборов и замерами деталей имеется связь, позволяющая оценить шум, издаваемый деталями, в миллиамперах. Получили распространение метод определения температур при помощи специальных термокрасок. При достижения определенной температуры краска изменяет свой цвет.

Для выявления раковин, трещин и других подобных невидимых дефектов применяют специальные дефектоскопы. В ремонтной службе чаще всего используются магнитные и люминесцентные дефектоскопы. Окончательное заключение о степени пригодности деталей и узлов к работе дается в соответствии с техническими условиями.

Детали и сочленения, потерявшие свои полезные качества (нарушение размеров, искажение формы, изменение зазоров, поверхностные повреждения, поломки и пр.), можно снова их использовать после их восстановления.

Основой ремонтного производства является восстановление деталей. От правильного выбора способа восстановления в значительной мере зависят технические и экономические показатели ремонта.

Современная технология располагает такими средствами, при помощи которых детали не только восстанавливаются в их первоначальном виде, но в отдельных случаях приобретают лучшие качества благодаря применению упрочняющих средств, улучшению конструкции и др.

Плазменная обработка является одним из передовых методов восстановления и упрочнения деталей машин. В последнее время плазменную обработку все шире применяют для восстановления и упрочнения изношенных деталей. Высокотемпературный и сильно ионизированный газ, образующий плазму (аргон, азот), пропускают через узкий канал, в котором действует дуговой разряд между двумя электродами, из которых один не плавящийся (из вольфрама). Столб электрической дуги сжимается газом, что способствует подъему его температуры до 16000-17000 °С и более. Благодаря тому, что в малом пространстве выделяется большое количество тепла, происходит ионизация плазмообразующего газа. Плазменную струю получают в специальной плазменной горелке, или, иначе, плазмотроне. Плазменной струе присуща не только высокая температура факела, но и концентрация большой тепловой мощности в малых объемах, благодаря чему участки перегрева в 3-5 раза меньше, чем при электродуговой сварке, и в 10-30 раз

меньше, чем при газовой сварке. В результате зоны термического влияния при плазменной обработке соответственно меньше, чем при электродуговой и газовой сварке, в 3-5 раз. Все это позволяет получить наплавленный слой толщиной от 0,1 мм до нескольких миллиметров.

Кроме указанных достоинств плазменная обработка имеет и другие. Плазменная струя может расплавить любой из известных материалов: применяемые газы – негорючи; процесс протекает с большой скоростью и производительностью и может выполняться в различных средах, в том числе и под водой. В качестве присадочного материала чаще всего используются тугоплавкая высокотвердая проволока (пруток) или порошок, обеспечивающие получение износостойких покрытий.

Присадочный материал вводят в поток плазмообразующего газа (порошок) через канал плазмотрона или за срезом его медного сопла, здесь он расплавляется и сжатым воздухом направляется на поверхность частицы, деформируется, взаимодействует и формируется в слой покрытия.

Установка для плазменной обработки состоит из плазмотрона, системы его электрообеспечения, подачи присадочного материала, управления, газоснабжения, водоохлаждения электродов и контроля.

На рис.1 показана схема установки для плазменного напыления порошковым материалом.

Для плазменной наплавки выпускают установки УПУ-3Д и УМП-6, в состав которых входит плазмотрон ПП-25. Универсальная плазменная установка УПУ-3Д служит для нанесения износостойких и изоляционных покрытий из проволоочного или порошкового материала. Толщина наносимого покрытия 0,1-2,0 мм, сила тока 300-400 А, напряжение 85-90 В. Наплавку ведут на прямой полярности. Электропитание осуществляется от преобразователей типа ПС-500, ПСО-500 и ИПН-160/600.

Установку УМП-6 в необходимых случаях можно оснащать плазмотроном для нанесения покрытия на внутреннюю поверхность детали. Деталь, подлежащую плазменному наращиванию, очищают от загрязнения. Плазменное покрытие зачищают, а при необходимости шлифуют.

При восстановлении деталей важен правильный выбор способа восстановления, осуществляемый по технико-экономическому признаку, который может быть выражен формулой

$$C_B \leq K C_H$$

где C_B – стоимость детали, восстановленной данным способом; $K = T_B/T_H$ – коэффициент долговечности восстановленной детали; T_B/T_H – срок службы соответственно восстановленной данным способом детали и новой; C_H – стоимость новой детали.

Рисунок 1 - Схема установки для плазменной наплавки проволокой или стержнем:

1 – вольфрамовый электрод; 2 – плазмообразующий газ; 3 – сопло плазмотрона; 4 – электросопротивление; 5 – источник электропитания; 6 – балластное электрическое сопротивление; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – плазменный факел; 9 – присадочная проволока; 10 – плазменная струя.

Восстановлению подвергаются разнообразные детали машин, подразделяемые на детали общего и специального назначения. Эксплуатационные свойства восстановленных различными способами деталей неравноценны. Например, детали, восстановленные плазменной технологией, обладает высокой надежностью, в то время как восстановленные вибродуговой наплавкой пониженную усталостную прочность, а восстановленные металлизацией – недостаточную прочность сцепления покрытия с поверхностью детали.

Развитие способов восстановления деталей, какими являются плазменные и лазерные покрытия и упрочнение деталей, применение новых порошковых и полимерных материалов, использование принципов поверхностной пластической деформации особенно эффективны в условиях централизованного ремонта.

Список литературы

1. Малаховский В.А. Плазменная сварка. М., 1987.
2. Худых М.И. Ремонт текстильных машин. М., “Легпромбытгиздат”, 1991.

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Исмойлов Ф.Б., Исмойлов Х.Б.

Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан

В данной статье приведены материалы восстановления деталей наплавкой, совмещенной с механической обработкой и пластическим деформированием.

Ключевые слова: техническое состояние, восстановление, механическая обработка, наплавка, себестоимость.

Техническое состояние машины характеризуется совокупностью значений ее основных параметров. К ним относятся производительность, качество выпускаемой продукции, потребляемая энергия, безотказность, экономичный расход сырья, точность работы механизмов и узлов, их износостойкость, прочность и другие параметры машин. Каждый из этих параметров в ходе эксплуатации должен находиться в пределах, указанных в технической документации на машину.

В процесс длительной эксплуатации машины и ее параметры постепенно ухудшаются, главным образом из-за износа, остаточных деформаций, поломок и коррозии деталей, узлов и механизмов. Машина, техническое состояние которой ремонту с целью восстановления ее функций. Безотказная, длительная работа машины обеспечивается прежде всего надежностью и долговечностью ее деталей, узлов и механизмов.

Одним из основных вопросов ремонтного производства является восстановления изношенных деталей.

Восстановление деталей наплавкой, совмещенной с механической обработкой и пластическим деформированием, является одним из высокоэффективных способов восстановления. Сущность способа заключается в электродуговой наплавке деталей под флюсом, легированным графитом и феррохромом с одновременным фрезерованием и поверхностным пластическим деформированием накатным роликом горячего металла в процессе его наплавки. Установка, позволяющая совмещать эти процессы, показана на рисунке 1. Для обеспечения высокой твердости наплавленного металла (HRC-52...62) рекомендуется легированный флюс, который содержит стандартный флюс АН-348А ГОСТ 9087-69 (95,5%), графит порошковый ГОСТ 5279-74 (2,5%) и феррохром №6 порошковый ГОСТ 4757-79 (2%).

Для обработки наплавленного металла используют торцовую фрезу с механическим креплением пятигранных пластин из твердого сплава марки Т15К6 (ГОСТ 3882-74). Режущая часть фрезы имеет следующие геометрические параметры: главный угол в плане 72° , длина вспомогательной режущей кромки в 1,5-2 раза больше величины шага наплавки, передний угол равен минус 7° , задний угол 7° , задний угол

навспомогательной режущей кромке 11° , угол наклона режущей кромки 11° , диаметр торцовой фрезы 63 или 100 мм, число зубьев 6 или 8.

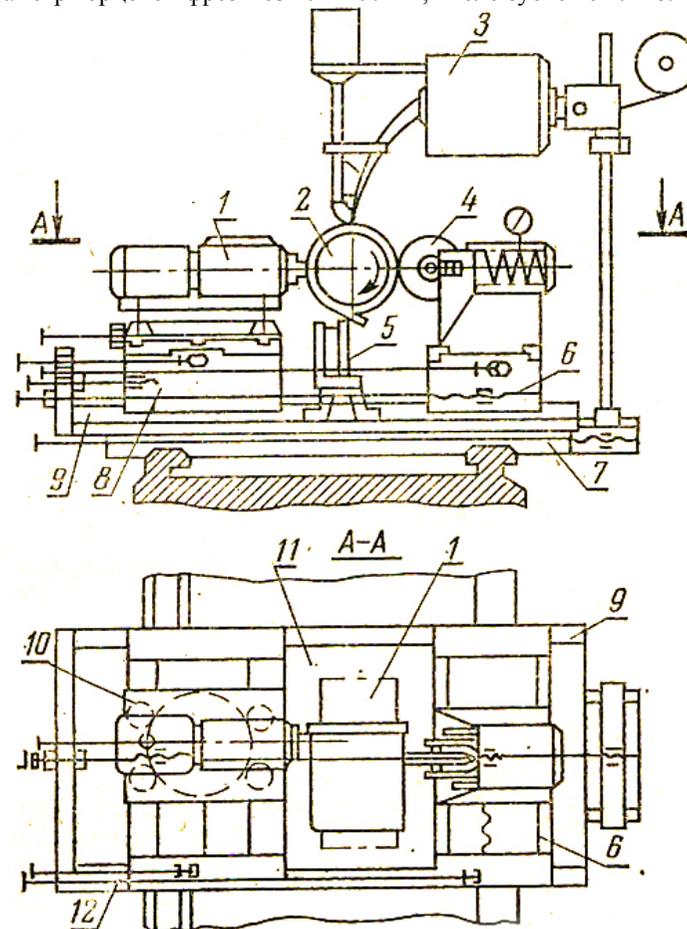


Рисунок 1 - Схема установки для наплавки цилиндрических деталей под флюсом с одновременным фрезерованием и накаткой роликом:

1 – фрезарная головка; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – наплавочная головка; 4 – накатной ролик; 5 – шлакоудаляющее устройство; 6 – суппорт накатной головки; 7 – каретка токарного станка; 8 – суппорт фрезерной головки; 9 – поперечные направляющие; 10 – каретка с подъемными винтами; 11 – несущая плита; 12 – продольные направляющие.

Нкатный ролик диаметром 100...150 мм изготовлен из стали ШХ-15. Рабочая поверхность его обработано до 10-го класса шероховатости и закалена до твердости HRC 65. Ролик имеет цилиндрический поясok ши-

риной 6...10 мм. Фреза, накатный ролик и шлакоудаляющий резец перемещаются с одинаковой скоростью вдоль детали одновременно с наплавочным автоматом. Наплавленный металл при вращении детали одновременно обрабатывается резцом шлакоудаляющего устройства, фрезеруется торцовой фрезой и обжимается накатным роликом. Теплота, получаемая от сварочной дуги, используется одновременно для обработки фрезой труднообрабатываемого металла и для пластического формообразования и термической обработки наплавленного металла.

Режимы наплавки восстанавливаемых деталей устанавливаются в зависимости от размеров. Например, при восстановлении цилиндрических деталей диаметром 120 мм пружинной проволокой II класса (ГОСТ 9389-75) режимы наплавки следующего порядка: частота вращения детали 2,0 об/мин; диаметр электродной проволоки 1,8...2 мм; шаг наплавки 4...4,5 мм/об; сила тока 240...250 А; напряжение 26...28 В; скорость подачи электродной проволоки 2,3 м/мин; вылет электродной проволоки 20...25 мм; температура наплавленного металла в зоне фрезерования 400...800 °С; скорость фрезерования 220...250 м/мин; продольная подача фрезы 4...4,5 мм/об; подача на зуб фрезы 0,1...0,15 мм; диаметр накатного ролика 100...120 мм; ширина цилиндрического пояса ролика 16 мм; температура металла в зоне пластической деформации 300...600 °С; усилие накатки 8...10 кН.

У деталей, наплавленных под легирующим флюсом с одновременным фрезерованием и накаткой роликом, структура металла по длине детали однородна и представляет собой мелкоигольчатый мартенсит с небольшим количеством остаточного аустенита.

Накатка металла роликом также способствует увеличению твердости. При фрезеровании со скоростью 200...2500 м/мин металла в процессе его наплавки и накате ее роликом усилием 8...10 кН поверхностная твердость детали находится в пределах HRC 52...56. При этом достигается наилучший (7-й) класс шероховатости.

Оптимальность условий по восстановлению деталей можно определить, проанализировав следующие экономические показатели: наименьшей себестоимости восстановления; издержек производства; экономии капитальных вложений; наименьших народнохозяйственных приведенных затрат и наименьших народнохозяйственных затрат, обусловленных восстановлением данных деталей.

Показатель наименьшей себестоимости ΔC_B – первый из общих показателей народнохозяйственного экономического эффекта

$$\Delta C_B = C'_B - C''_B = \sum_{j=1}^z (C'_{Bj} - C''_{Bj}) N_j$$

где C'_B и C''_B – полная себестоимость восстановления деталей в неспециализированных и специализированных звеньях ремонтной сети соответственно;

z – номенклатура восстанавливаемых деталей;

N_j – программа восстановления деталей j -го наименования за год;

C'_{Bj} и C''_{Bj} – полная себестоимость j -й детали при восстановлении детали в неспециализированных и специализированных звеньях ремонтной сети.

Список литературы

1. Е.Л.Воловик. Справочник по восстановлению деталей. М., «КОЛОС», 1981.
2. Л.Г.Одинцов. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. М., «Машиностроение», 1987.
3. М.И.Худых. Ремонт текстильных машин. М., «Легпромбытгиздат», 1991.

Научное издание

**НОВЫЕ РЕШЕНИЯ
В ОБЛАСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ: ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ
СПЕЦИАЛИСТОВ**

*Сборник научных статей
Международной
научно-практической конференции
22 - 23 декабря 2016 г.*

Ответственный редактор *Романенко Д.Н.*

ТОМ 1

Подписано в печать 30.12.2016 г.
Формат 60x84 1/16, Бумага офсетная
Уч.-изд. л. 21,6 Усл. печ. л. 21,6 Тираж 400 экз. Заказ № 336
Юго-Западный государственный университет
г.Курск, ул. 50- лет Октября, 94

Отпечатано в типографии
Закрытое акционерное общество "Университетская книга"
305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12
ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829 дата регистрации 23.11.2004 г.
Телефон +7-910-730-82-83