

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

На правах рукописи

САДЫКОВ МАРАТ РАШИТОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕ-
СКИМ ЦИНКО-ЖЕЛЕЗНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Научно-квалификационная работа (диссертация)

на соискание квалификации «Исследователь. Преподаватель–исследователь»
по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и
энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Направленность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслужива-
ния в сельском хозяйстве

Научный руководитель
Доктор технических наук, профессор
Адигамов Наиль Рашатович

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного доклада
об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы
(диссертации) на государственной итоговой аттестации
(протокол № 21 от 15 июня 2020).

Зав. кафедрой, профессор

Адигамов Н.Р.

Казань – 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ..	9
1.1 Классификация внутренних цилиндрических поверхностей высокоточных деталей современных отечественных и зарубежных СХМ ..	9
1.2 Особенности и характеристика износа внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных СХМ.....	20
1.3 Анализ способов восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных СХМ методом электролитического осаждения металлов	24
1.4 Устройство и оборудования, применяемые при восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей СХМ электролитическим натиранием.....	29
1.5 Задачи исследования	35
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОНАТИРАНИЕМ	36
2.1 Моделирование кинематических параметров электролиза композиционных гальванических покрытий.....	36
2.2 Исследование физико-технологических свойств гальванических композиционных покрытий Zn-Fe-P	42
2.3 Теоретическое обоснование повышения производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием	46
2.4 Расчет технического и технико-экономического критерия и выбор рационального способа восстановления деталей СХМ имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхность.....	51

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	55
3.1 Программа исследований	55
3.2 Общая методика исследований.....	56
3.3 Методика определения твердости покрытия.....	59
3.4 Методика определения износостойкости покрытия.....	64
3.5 Методика определения толщины гальванического покрытия	68
3.6 Вывод по главе 3.....	71
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ...	72
4.1 Результаты исследования влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия.....	72
4.2 Результаты экспериментальных исследований влияние температуры электролита	75
4.3 Влияние катодной плотности тока в процессе гальванического натирания	78
4.4 Построение диаграммы состояний цинк-железного сплава	82
4.5 Влияние параметров электролитического натирания на твердость покрытий	85
4.6 Вывод по главе 4.....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
ЛИТЕРАТУРА	96
ПРИЛОЖЕНИЕ	101

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В ситуации рыночной экономики и конкуренции важной задачей для промышленных предприятий всех направлений считается ремонт и восстановление техники и отдельных ее частей. Более длительный процесс эксплуатации любой техники, и механизмов СХМ приводит к замене или восстановлению деталей, что последнее зачастую более экономичнее. Как показывают всевозможные изучения до 80% изношенных цилиндрических деталей машин и устройств целесообразно восстанавливать, используя современные технологии и методы [7]. В этом случае необходимо стремиться к увеличению качества покрытий, износостойкости, повышению физико-механических свойств покрытий при одновременном снижении расходов материала [27].

С каждым днём в сельском хозяйстве, а именно, в предприятиях ремонта и восстановлении изношенных деталей, механизмов и узлов, набирает большую популярность и обороты. В связи с этим разрабатываются новые технологии, повышается надежность, производительность, продуктивность технологического процесса, экологическая эффективность, достигается высокий эффект износостойкости, не ниже новых, а тем самым ресурс [50].

Все рабочие поверхности высокоточных деталей сельскохозяйственной техники, которые имеют внутреннюю поверхность, со временем подвергаются износу, это связано с значительными динамическим и температурным нагрузкам, химическими воздействиями и т.д. К таким деталям можно отнести, гильзы цилиндра двигателей, коренные опоры ДВС, корпус задней крышки КПП, картер коробки, корпус КПП, крышка двигателя, картер (кожух) маховика, картер распределительных шестерен, стакан подшипника и т. д [6,17].

Таким образом актуальным направлением диссертации является разработка и внедрение новых и ресурсосберегающих технологий, выбора качественного и дешевого и более простого оборудования, инновационных и но-

вых устройств, дешевого материала для восстановления внутренних цилиндрических отверстий представляют большой теоретический и практический интерес.

Цель работы. Повышение производительности и эффективности технологического процесса высокоточных деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутренние цилиндрические поверхности комбинированным электролитическим натиранием.

Сформированы следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования износов деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутренние поверхности.

2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования нанесение слоя металла электролитическим натиранием, изучить структуру и физико-механические свойства в процессе нанесения компонентов Fe-Zn.

3. Разработать способ восстановления электролитическим натиранием внутренних цилиндрических деталей СХМ и устройство для его осуществления.

4. Разработать технологический процесс восстановления и упрочнения на основе компонентов Fe-Zn деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности и определить его параметры.

Объект исследования – высокотехнологический процесс восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей деталей гальваническим натиранием на основе Fe-Zn.

Предмет исследования – рабочие внутренние цилиндрические поверхности высокоточных деталей сельскохозяйственной техники.

Научную новизну исследования составляют:

1. Новый способ формирования покрытия на внутренние цилиндрические рабочие поверхности высокоточных деталей СХМ на основе компонентов Fe-Zn.

2. Высокопрогрессивная технология формирования компонованного покрытия электролитическим натиранием.

3. Разработка методики теоретических исследований износостойкости гальванопокровов, аналитические зависимости качественных показателей и кинематическое моделирование параметров электролиза композиционных гальванических покровов.

4. Новое устройство для электролитического нанесения покровов методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности.

Новизна технических решений подтверждается патентом Российской Федерации на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитических зависимостей динамики изнашивания, покровов слоем восстанавливающего и упрочняющего материала, новых закономерностей влияния условий осаждения электролитических сплавов Fe-Zn на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства восстановленной поверхности деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности электролитическим натиранием.

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты доведены до алгоритмов технологии, позволяющих использовать их в качестве перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхности гальваническим натиранием.

Методология и методы исследования. В экспериментальных и теоретических исследованиях используются методы расчета, основанные на положениях теории надежности, математической статистики, теории вероятности и закона Фарадея. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики планирования эксперимента, стандартных и специальных методик металлофизических исследований. Обработка результатов осуществлялась методами многофакторного и статистического анализа.

Апробация работы осуществлялась на научно-практических конференциях Казанского ГАУ и других в 2017 – 2020 годах.

Основные положения научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Научно-практическая конференция «Аграрная наука XXI века»; 18 января 2018 года.

- 76-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»; 11-12 апреля 2018 года.

- Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса». 15-16 мая 2018 года.

«Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 7 декабря 2018 года.

- научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ 2018» Липецк, 12-13 декабря 2018 года.

- 77-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»; 9-10 апреля 2019 года.

- III международная научно-практическая конференция: «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», посвященная памяти д.т.н., профессора Волкова Игоря Евгеньевича, Казань, 22 мая 2019 года.

«Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 12 декабря 2019 года.

Российская национальная научно-практическая интернет-конференция для обучающихся и молодых ученых «Рост и воспроизводство научных кадров в сельском и лесном хозяйстве», Нижний Новгород, 18–19 декабря 2019 года.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в том числе, в изданиях, рецензируемых ВАК Российской Федерации 1 статья, 6 статей находятся в печати в издании, получен 1 патент на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

Структура и объем работы. Структура и объем научно-квалификационной работы. НКР состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на - страницах машинописного текста, содержит - рисунков и - таблиц. НКР содержит библиографию из - наименований. Выполнение работы осуществлялось на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин», ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Институт механизации и технического сервиса.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Классификация внутренних цилиндрических поверхностей высокоточных деталей современных отечественных и зарубежных СХМ

Для действующих производителей сельскохозяйственной техники российский рынок в основном привлекателен своей эффективностью - наличие тракторов и комбайнов составляет от 45 до 58% технологического спроса [45].



Рисунок 1.1 Рынок тракторов РФ январь-июнь 2019

Нет сомнений в том, что иностранные сельскохозяйственные машины выгодно отличаются от своих отечественных аналогов как с точки зрения производительности, так и надежности, но есть и недостатки. Одним из наиболее существенных недостатков является то, что российские сельхозпроизводители зависят от базы для ремонта этого оборудования и, в частности, от имеющихся запасных частей, которые в современных условиях нестабильных политических отношений и внедрения постоянных экономических ограничений, могут

вызвать серьезные проблемы для сельскохозяйственного производства в нашей стране [3].

В то же время, зарубежное оборудование и агротехника, по истечении пяти лет эксплуатации, начинает снижаться все более быстрыми темпами в своих технических показателях. Кроме того, количество отказов от российской техники увеличивается из-за невозможности ремонта сложные узлы и агрегаты. Ситуация осложняется большим количеством импортных брендов агротехники, прибывающих в конкретный регион: это «размывает» концентрацию оборудования данного производителя и снижает его экономический интерес к созданию компаний по ремонту агрегатов с высокими ресурсами [18].

Таким образом, производитель сельскохозяйственной техники, использующий современное оборудование и агротехнику, подвергается таким проблемам:

- Отсутствие высокотехнологичных производственных мощностей для ремонта сложных узлов и агрегатов;
- Отсутствие системной поддержки, а также информационной и технической поддержки для проблем эксплуатации и ремонта - эти проблемы решаются каждой компанией независимо и с неоправданными экономическими потерями.
- высокие цены на запчасти и ремонт современных тракторов и комбайны;
- Отсутствие централизованных ремонтных мастерских, которые концентрируют полный перечень услуг в одном месте для упрощения использования.

В некоторых случаях компании вынуждены покупать полностью дорогие агрегаты для современной сельскохозяйственной техники для быстрой замены [10]. По результатам ремонтных работ, проведенных дилерами сельскохозяйственной техники и ремонтными компаниями, были выявлены наиболее распространенные неисправности импортного оборудования, которые при-

мерно в 70% являются неисправностями компонентов [24]. Типичные дефекты, появляющиеся в сельскохозяйственных машинах, показаны на рисунке 1.1.



Рисунок 1.2 Характерные неисправности зарубежной и отечественной сельскохозяйственной техники

Современный анализ затрат показывает двойное повышение стоимости запасных частей при замене крышки коллектора редуктора трактора John Deere 7830 в общей структуре затрат на восстановление. Ценовая политика на запчасти, с одной стороны, продиктована монополией производителей импортного оборудования, а с другой - геополитическими событиями 2014 года, которые превалируют над деловыми интересами и здравой экономической логикой [6].

Многие производители, в том числе отечественные, оснастили и сейчас оснащают сельскохозяйственную и специальную технику двигателями Cummins (таблица 1.1).

Таблица 1.1 Двигатели Cummins в сельскохозяйственной и спецтехнике

Марка техники	Производитель	Модель двигателя Cummins
1	2	3
Зерноуборочные комбайны РСМ-101 «Вектор-420», «Вектор-420Е», тракторы RC 190, RC 220,	ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»	QSB 6.7
Тракторы RC 250, RC 280, RC 305		QSC 8.3
Зерноуборочные комбайны ACROS-535, ACROS-560, трактор Versatile MFWD 320		6LTA 8.9, 6CTA 8.3, QSC-8.3
Зерноуборочные комбайны ACROS-580, ACROS 585, ACROS 596 PLUS		6LTAA 8.9 6LTAA 8.3
Зерноуборочный комбайн RSM 161		QSL 9.0, QSL 8.9
Тракторы Buhler Versatile 435, 485, 535, DeltaTrack 460DT, 520DT, 570DT, 620DT, Versatile DT, RSM 3000		QSX 15
Зерноуборочный комбайн TORUM 760		QSX 11.9
Кормоуборочный комбайн RSM 1403		N14
Трактор Кировец К-744Р		6LTAA 8.9
Трактор BELARUS-3522		QSL 8.9
Трактор BELARUS-3525.6	АО «Петербургский тракторный завод»	QSL 9.0
Гусеничные экскаваторы ЧЕТРА ЭП200, ЭП230, ЭП270, бульдозер ЧЕТРА Т9	ОАО «Минский тракторный завод»	QSB 6.7
Бульдозеры ЧЕТРА Т35, Т40		QSK 19, КТТА 19

К тому же, рост цен на импортные комплектующие, используемые при сборке сельхозтехники, в России увеличивается стоимость этого продукта [23].

Плохо организованная работа технического обслуживания и эксплуатации зарубежного оборудования и техник, отдельно логистического сервиса,

влечет за собой как увеличение материальных затрат на покупку запчастей, а также увеличение простоев работающего оборудования [11].

Введение крупномасштабных санкций со стороны США и Евросоюза, отношение Российской Федерации может привести к общему сокращению или ликвидации импорта запчастей для ремонта ранее поставленной сельскохозяйственной техники. Рост курса доллара почти удвоился, а падение цен на нефть подтолкнуло уровень цен на запчасти, импортируемые из иностранной стороны, особенно в отношении деталей имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхность деталей сельскохозяйственной техники. Таким образом, последствия экономических санкций, введенных западными странами, должны быть сведены к минимуму путем ограничения поставок техники, запчастей и ремонтного и технологического оборудования в Россию. Можно снизить эксплуатационные расходы и повысить эффективность технологий технического обслуживания импортных машин, организовав восстановление деталей, особенно самых дорогих, с использованием современных технологий. [13]. Малонагруженные, медленно вращающиеся валы изготавливают из недорогих сталей – Ст3, 4 и 5, 35, 40, 45. Такие валы не подвергаются термической обработке.

Малонагруженные, слабо и медленно подвергающие нагрузке, вращающиеся на слабых оборотах детали, имеющие внутренние поверхности изготавливают из недорогих сталей- Ст3, 4 и 5, 35, 40, 45. И к тому же они не подвергаются термической обработке. Минимальная требуемая твердость наружных поверхностей составляет ~270 НВ, для некоторых устанавливается и максимальная – около 310 НВ. Многие из этих изделий изготовлены из стали 45 [14].

Разработка типизации, классификации и унификации деталей по группам позволяет наиболее эффективно осуществлять организационную и технологическую подготовку производства, а также подобрать наиболее рациональные методы их восстановления. Такой научный подход обеспечивает создание типовых технологических и конструктивных разработок, позволяет постоянно их совершенствовать и быстро переналаживать производство на восстановление деталей близкой номенклатуры, а также выдвигать единые требования

к качеству, в том числе и при использовании принципиально новых технологических процессов [28].

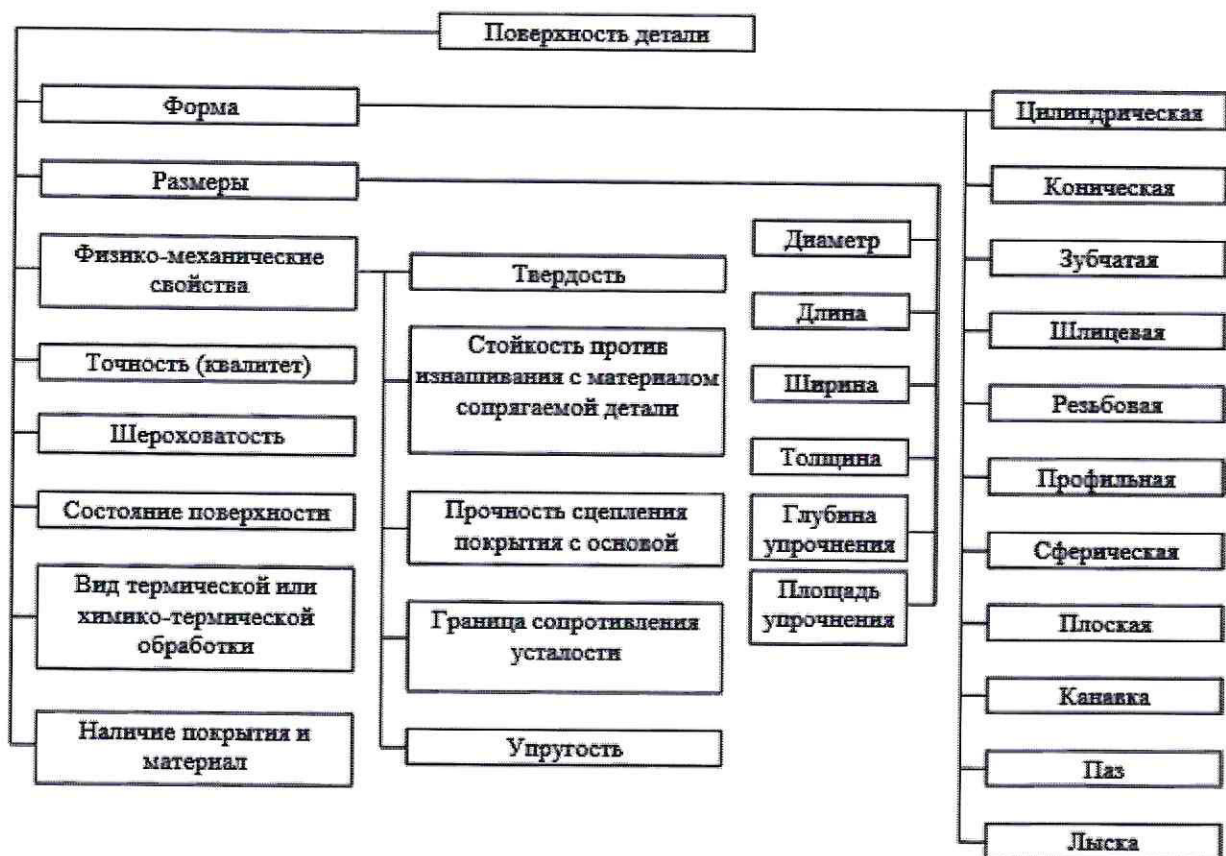


Рисунок 1.3 Характеристика поверхностей деталей форма детали

Структурно-логическая схема должна дать полную характеристику детали и условий ее работы. К числу параметров относятся: форма, размеры, материал, масса, наличие дефектов и износа. Важной характеристикой детали является ее физико-механические свойства, точность, шероховатость, степень упрочнения рабочей поверхности. Анализируя данные этой таблицы, можно заметить, что детали различного класса и подкласса существенно отличаются по технологическим задачам восстановления, что связано с условиями их работы [21].

Таблица 1.2 Классификация деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутреннюю цилиндрическую повторность

Класс	Подкласс	Основные технологические задачи восстановления
1	2	3

Детали типа тел вращения		
01. Цилиндры полые	01.1 Гильзы цилиндров	Внутренние и наружные цилиндрические поверхности
	01.2 Стаканы, ступицы, втулки	Внутренние, наружные и торцевые поверхности
	01.3 Валы пустотелые, оси полые	Внутренние цилиндрические поверхности
Детали, не являющиеся телами вращения		
02. Корпусные	02.1 Блоки цилиндров	Трещины в перемычках между отверстиями под гильзы, поверхности и несоосности
	02.2 Головки блоков цилиндров	Клапанные гнезда, плоскости прилегания к блоку
	02.3 Корпуса	Цилиндрические и плоские поверхности с высокими требованиями к точности их обработки и расположения, заделка трещин
03. Тонкостенные	03.1 Крышки, кожухи, картеры	Плоские поверхности, заделка трещин, восстановление гладких и резьбовых отверстий
	03.2 Детали облицовки	Устранение вмятин, заделка трещин

Оценивая износ основных деталей машин и оборудования, следует отметить, что наибольшее их число 80...83% имеют износ до 0,6мм. При этом износ до 0,2 составляет 10...12%, до 0,3 - 10%, до 0,4 - 1,0%, до 0,5 - 5,0%, до 0,6 - 3,0% деталей. По характеристике поверхности износ различных групп деталей характеризуется следующим образом [22,16]: цилиндрическая - 52...53,3%; коническая и сложнопровфильная - 4%; шлицевая - 3...10%; паз, канавка, лыска - 5%; резьбовая - 10...13%; плоская - 1...6%; зубчатая - 2...10,2%. Трещины, выкрошки, поломки имеют место у 9% деталей, а нарушение геометрических размеров и формы - у 13%. Из приведенного анализа видно, что больше всего изнашиваются и подлежат восстановлению детали цилиндрической формы классов 01 и 02. Кроме основных параметров восста-

навливаемых деталей, для выбора способа восстановления деталей важным являются условия их работы (тип сопряжения, виды трения и относительное перемещение поверхностей при эксплуатации, температурный режим и рабочая среда).

Дефекты поверхностей деталей делятся на группы по несоответствию: размеров (до 75%), формы (до 18%), шероховатости (до 4,0%), физико-механических свойств (до 2%), нарушению сплошности (до 1%). Из этого следует, что для восстановления деталей основным методом является наращивание изношенного слоя. К деталям сельскохозяйственной техники, имеющим внутреннюю поверхность показано в таблице 1.3.

Таблица 1.3 Детали СХМ имеющие внутреннюю поверхность

Название	Применима	Цена	Иллюстрация
Корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015	BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, МАЗ	Средняя цена на рынке РФ 4700 рублей на 14.04.2020 год.	
Картер коробки AZ2220010102 SINOTRUK HOWO	SINOTRUK HOWO. Марки КПП: HW18709	Средняя цена на рынке РФ 6900 рублей на 14.04.2020 год.	
Корпус КПП 18686-С	BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, Камаз, МАЗ	Средняя цена на рынке РФ 12 000 рублей на 14.04.2020 год.	
Крышка двигателя передняя Камминз (Cummins) 4ISBe	Камаз, Нефаз, Паз, Higer, Кавз,	Средняя цена на рынке РФ 4500 рублей на 14.04.2020 год.	

Картер (ко-жух) маховика ISBe, ISDe (КПП 154) - 2831370	Cummins (камминз) ISBe, ISDe - Камаз	Средняя цена на рынке РФ 30 000 рублей на 14.04.2020 год.	
Держатель (прижим) форсунки ISBe, ISDe (Евро 3) - 3976370, 4990774	Cummins 6ISBe, 4ISBe, ISDe, QSB (Камаз, Нефаз, Паз, Higer, Кавз.	Средняя цена на рынке РФ 550 рублей на 14.04.2020 год.	
Картер распределительных шестерен	Cummins (Камминз) (Камаз, Нефаз, Паз, Higer, Кавз, Экскаваторы и спецтехника).	Средняя цена на рынке РФ 11 000 рублей на 14.04.2020 год.	
Картер Д21-1002312 Д-120	Трактора Т-16, Т-40, Т-25.	Средняя цена на рынке РФ 1850 рублей на 14.04.2020 год.	
Блок-картер Д21-1002010	Трактора Т 25,Т 25А,Т16	Средняя цена на рынке РФ 16500 рублей на 14.04.2020 год.	
Корпус подшипника 751779 CNH	комбайнах New Holland CX8030, CX8040, CX8050, CX8060, и пр.	Средняя цена на рынке РФ 860 рублей на 14.04.2020 год.	
Вилка 84817003 для разгрузочного шнека	New Holland, Вилка 84817003 New Holland.	Средняя цена на рынке РФ 3400 рублей на 14.04.2020 год.	
Муфта 362801 CNH	New Holland: 1530, , 1545, 1550, 8030, 8040, 8055, 8060, AL519, L411, L413, L416 и т.д.	Средняя цена на рынке РФ 630 рублей на 14.04.2020 год.	

Корпус подшипника вариатора оборотов молотильного барабана 417747 CNH	New Holland: TC5040E3, TC5050E3, TC5060M3, TC5070E3, TC5070E4 т.д.	Средняя цена на рынке РФ 960 рублей на 14.04.2020 год.	
Кольцо вариатора оборотов молотильного барабана	New Holland: TC5040E3, TC5050E3, TC5060M3, TC5070E3, TC5070E4, TC5080E3, TC5080E4, TC508HS3, TC508HS4.	Средняя цена на рынке РФ 630 рублей на 14.04.2020 год.	
Муфта (держатель пальца шнека жатки со шплинтом)	В технике CASE	Средняя цена на рынке РФ 580 рублей на 14.04.2020 год.	
Втулка 84017250 CNH	New Holland: 72C25I, EXTRA-CAPACITY, FALIND, HIGH-CAPACITY, VARIFEED	Средняя цена на рынке РФ 540 рублей на 14.04.2020 год.	
Вилка 278649 CNH	New Holland: 163	Средняя цена на рынке РФ 690 рублей на 14.04.2020 год.	
Стакан подшипника 86516465 CNH	New Holland: 8670, 8670A, 8770, 8770A, 8870, 8870A, 8970, 8970A, G170, G190, G210, G240, Case 2388.	Средняя цена на рынке РФ 680 рублей на 14.04.2020 год	
Втулка 87431217 CNH	Используется в технике New Holland	Средняя цена в РФ 606 рублей на 14.04.2020 год.	
Уплотнение вала 504042684 CNH	Используется в технике New Holland.	Средняя цена в РФ 6 500 рублей на 14.04.2020 год.	

Корпус подшипника 84334522 CNH	Используется в технике New Holland	Средняя цена в РФ 1250 рублей на 14.04.2020 год.	
Крышка дифференциала КПП	Трактор Т- 25	Средняя цена в РФ 750 рублей на 14.04.2020 год.	
Коренные опоры ДВС	Практически в любых ДВС	Средняя цена в РФ 750 рублей на 14.04.2020 год.	
Гильзы цилиндра двигателей	Практически в любых ДВС	Средняя цена в РФ 3500 рублей на 14.04.2020 год.	
Цилиндр воздушного компрессора	Практически все трактора, комбайны, спец. Техника т.д.	Средняя цена в РФ 1000-5500 рублей на 14.04.2020 год.	

Исходя из данных таблицы 1.3 видно, по классификации деталей большое количество сельскохозяйственной техники имеют поверхности с внутренним расположением, порядка 40%. По выше проведенному анализу так же видно, что к деталям, имеющим цилиндрическую поверхность относятся порядка - 52...53,3%. Это говорит о том, что целесообразно и необходимо рассматривать классификацию именно данных деталей, которые имеют износ внутренних поверхностей. По выявленному анализу видно, что средняя стоимость одной детали слишком высокая, деталь выгоднее восстановить, еще выгоднее ситуация проявляется тогда, когда на одной детали имеется несколько отверстий под внутренние поверхности [30]. В связи с этим появляется большой экономический и технический интерес при восстановлении детали новыми способами, в

поиске новых технологических операций, усовершенствование оборудования, метода, экологической эффективности, продуктивности процесса.

1.2 Особенности и характеристика износа внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных СХМ

Во время работы различных узлов происходит износ подвижных элементов его деталей. Из-за износа деталей, меняются их размеры и формы, их положения относительно друг друга или базовых поверхностей, структуры, шероховатости, механические свойств, возникают царапины, раковины, трещины, закатка и другие дефекты. Появление таких дефектов является причиной ухудшения технического состояния сборки в целом. Следствием этого является полная или частичная потеря производительности. [48].

Главным показателем, отражающий износ в деталях является трение. Под трением понимается сложное взаимодействие сопряженных поверхностей, при котором затрачивается энергия на деформирование микрообъемов материала в тонком поверхностном слое и преодоление сил молекулярного сцепления между соприкасающимися выступами неровностей. На рисунке 1.4 изображен корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015, которая имеет несколько внутренних поверхностей и основным фактором, влияющим на износ, является трение детали в процессе эксплуатации. Деталь совместима с марками грузовых автомобилей: BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, MAZ [5]. Средняя цена на рынке РФ 4700 рублей на 14.04.2020 года [16].



а)

б)

Рисунок 1.4 Корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015; а) вид сверху; б) вид сбоку

В зависимости от геометрической формы и характера относительного перемещения трущихся тел различают трение скольжения, трение качения и сложное трение.

Трение скольжения - это наиболее общий вид трения; оно возникает как результат взаимного скольжения двух соприкасающихся тел. При этом в точках контакта скорости обоих тел неодинаковы по величине.

Трение качения возникает в месте контакта одного тела, перекатывающегося по поверхности другого.

Сложное трение наблюдается в реальных условиях, когда возникает скольжение и перекатывание в местах контактирования двух трущихся тел.

При сравнении трения скольжения и качения установлено, что при качении износ поверхностей обычно меньше, чем при скольжении. Этим объясняется стремление конструкторов машин заменить трение скольжения трением качения, т. е. использовать в трущихся парах подшипники качения [47].

Необходимо отметить, что результатом работы сил различных видов трения является износ поверхностей деталей.

Смазка способствует выравниванию нагрузки на трущиеся поверхности. В результате этого снижаются сила трения и интенсивность изнашивания.

Смазка охлаждает детали и защищает их от коррозии, препятствуя развитию окислительного изнашивания.

Скорость взаимного перемещения трущихся поверхностей незначительно влияет на износ. Однако с увеличением скорости повышается температура трущихся поверхностей, что приводит к разрушению смазочной пленки.

Износостойкость деталей зависит от рода материала (сталь, чугун, бронза) и от его физико-механических свойств, в первую очередь — твердости, вязкости, склонности к образованию наклепа. Установлено, что износостойкость стальных деталей прямо пропорциональна твердости, зависящей от структуры и содержания углерода в стали. Структурные компоненты стали в порядке возрастания износостойкости располагаются следующим образом: феррит, перлит, сорбит, троостит, мартенсит, причем каждый из них повышает износостойкость по мере увеличения содержания углерода [35]. Однако очень высокая твердость детали приводит к повышенной хрупкости поверхностного слоя и, как следствие, к снижению износостойкости из-за появления трещин и выкрашивания.

Износостойкость стали повышается при легировании, например, кремнием, марганцем, хромом и никелем за счет образования карбидов. Износостойкость деталей из чугуна в основном зависит от структуры, а также формы и размеров графитовых включений. Наибольшую износостойкость придает чугуну пластинчатоперлитная структура. Графит, находясь в прослойке между трущимися поверхностями, снижает коэффициент трения. Износостойкость чугуна может быть повышена легированием кремнием, марганцем, никелем и последующей термической обработкой [17

].

Хорошими антифрикционными качествами обладают материалы на основе цветных металлов (бронзы, баббиты, цинковые и алюминиевые сплавы). Новыми антифрикционными материалами являются пластмассы, особенно фторопласт-4. К числу недостатков пластмасс относятся плохая теплопровод-

ность и низкая температура плавления. Для восстановления некоторых деталей строительных машин применяют пластмассы в виде тонкослойных (толщиной 0,2-0,5 мм) покрытий на стальных деталях. В этом случае, наряду с восстановлением размера, обеспечен удовлетворительный отвод тепла от трущихся поверхностей. Для этих целей использованы полиамиды (поликапролактам, П-68, АК-7 и др.). Работоспособность пластмасс заметно повышается при введении в них графита, медного порошка и других антифрикционных материалов [40].

Интенсивность изнашивания деталей зависит от шероховатости их рабочих поверхностей. По мере повышения чистоты обработки деталей скорость изнашивания уменьшается. Однако при очень чистой обработке смазка хуже удерживается на рабочей поверхности. Это приводит к некоторому повышению скорости изнашивания. Поэтому существует некоторая оптимальная шероховатость, при которой скорость изнашивания минимальна. При слишком грубой поверхности износ происходит вследствие разрушения выступов неровностей[22].

Направление следов обработки также влияет на интенсивность изнашивания. Для деталей, работающих в условиях жидкостного трения и малых удельных давлений, желательно, чтобы следы обработки совпадали с направлением скольжения. Для деталей, работающих в тяжелых условиях (полужидкостное или полусухое трение, высокие нагрузки), оптимальными являются следы обработки в виде взаимно пересекающихся рисок, расположенных под углом к направлению движения детали. Такая Ориентация следов обработки способствует удержанию смазки, уменьшению фактической площади касания деталей и предотвращает схватывание и образование задиров [46].

На износостойкость детали влияет способ окончательной обработки рабочих поверхностей. Например, при шлифовании деталей из закаленной стали происходит нагрев поверхности, вызывающий структурные изменения. При

этом в 2-3 раза снижается износостойкость по сравнению с такими же деталями, обработанными тонкой обточкой. Оптимальная шероховатость деталей соответствует шероховатости, получаемой после приработки.

На надежность неподвижных соединений влияет также качество обработки поверхности. В соединениях деталей с неподвижными посадками грубая обработка приводит к выглаживанию гребешков и потере натяга и часто является причиной снижения усталостной прочности вследствие концентрации напряжений в глубоких рисках, повышенной склонности к коррозии и других нежелательных явлений.

1.3 Анализ способов восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных СХМ методом электролитического осаждения металлов

На сегодняшний день существует достаточно много способов восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей сельскохозяйственной техники: постановка уплотняющих колец, нанесение металлополимера, восстановление деталей методом вклейки, заделка трещин и швов, нанесение стеклоткани, заделка несквозных раковин, полимерными материалами, нанесение армирующих штифтов, наварка латуны, нанесение эпоксидных смол, клеев, плазменная наплавка, металлизация, полимерными материалами [33].

К недостаткам вышеперечисленных способов восстановления относятся высокая стоимость и трудоемкость их реализации, а также низкая степень универсальности при обработке деталей различных геометрических параметров. Так же данные методы являются далеко несовершенными и не совсем потребные при восстановлении внутренних поверхностей. К концептуально новым и особо перспективным технологическим процессам в процессе восстановления внутренних поверхностей деталей СХМ, относится гальваническое наращива-

ние. Данный метод восстановления в последние годы все шире и шире охватывают применения в промышленности, в лабораторных мастерских, благодаря высокой производительности, эффективности, целесообразности процесса, автоматизированным процессам, экологической продуктивности, достижению высокому эффекту износостойкости, упрочнению. Так как для наращивания слоя металла на поверхность требуется от 0,01 мм до 2 мм слоя, то целесообразный, выгодный с экономической стороны и рентабельный с технической стороны в процессе восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных сельскохозяйственных машин является гальванический способ [30]. Необходимо обратить внимание, то что ценное значение при ремонте и восстановлении машин обладает мгновенное и экономически выгодное восстановление методом гальванического наращивания внутренних поверхностей крупногабаритных по объёму корпусных деталей сельскохозяйственной техники, сугубо надежных и весьма дорогостоящих.

Гальваническое наращивание - это нанесенный химическим или электрохимическим способом слой металла или неметалла. В ванну с раствором электролита помещают деталь, подлежащую восстановлению, и пластину из соответствующего металлу. При прохождении тока через электролит положительно заряженные ионы материала пластины движутся к катоду и ровным слоем осаждаются на детали. Сущность гальванического процесса основано на электролитическом осаждении металлов, явление которое называется электролизом. Электролизом называются химические процессы, протекающие на электродах при прохождении через электролит электрического тока. Электролитами являются растворы солей, кислот и щелочей, проводящие электрический ток. Преимущества гальванического метода: 1. Обладает высокой износостойкостью; 2. Обладает высокой устойчивостью; 3. Имеет низкий коэффициент трения; 4. Очень высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали; 5. Хорошая электропроводность; 6. Высокие декоративные свойства; 7. Высокая прочность. К недостаткам можно отнести: 1. Низкий выход

металла по току; 2. Небольшая скорость отложения осадков; 3. Большое количество ядовитых выделений, образующихся при электролизе.

Гальванический метод обработки металлических поверхностей активно применяют сегодня в различных отраслях производства. Таким способом можно наносить на детали и целые изделия тончайший слой декоративного или защитного гальванического покрытия. Подобные технологии активно применяются научно-производственным предприятием в РФ. Научно-производственные компании, работают в области гальваники (электрохимического и химического нанесения металлов) [37]. Гальваника – раздел электрохимии, который изучает процессы осаждения металлов на определенной поверхности. Так проводят железнение, хромирование, цинкование металлов для придания им правильной геометрии, долговечности, износостойкости и других необходимых изделию физико-механических свойств.

Таблица 1.4 Электрохимические эквиваленты

Хим элемент	Валентность	Эл. хим. эквивал- т	Хим. элемент	Валентность	Эл. хим. эквивал- т
мг/Кл	г/(А·ч)	мг/Кл	г/(А·ч)		
Алюминий		0,093	0,335	Никель	0,304 1,095
Висмут		0,720	2,600	Олово	0,307 1,107
Водород		0,010	0,038	«	0,615 2,214
Железо		0,193	0,694	Палладий	0,553 1,990
«		0,289	1,042	Платина	1,011 3,640
Золото		0,681	2,452	Родий	0,356 1,280
«		2,044	7,730	Свинец	1,074 3,865
Индий		0,399	1,429	Серебро	1,118 4,025
Кадмий		0,582	2,097	Сурьма	0,421 1,514
Кислород		0,083	0,298	Хлор	0,367 1,323
Кобальт		0,305	1,099	Хром	0,090 0,324
Марганец		0,285	1,025	«	0,180 0,648
Медь		0,330	1,186	Цинк	0,339 1,220
«		0,695	2,372		

Для оценки полезного использования тока при нанесении гальванических покрытий принят показатель выход по току «. Он определяется отношением выделившегося металла на катоде (детали) к теоретически рассчитанного по закону Фарадея и определяется по формуле

$$H = \frac{100m_{\Pi}}{m_T} = \frac{100(m_1 - m_2)}{m_T}, \% \quad (1.1)$$

где m_{Π} – практически прореагировавшая масса металла; которая должна прореагировать по закону Фарадея; m_1 и m_2 - масса детали до и после нанесения покрытия. Катодные выходы по току приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Катодные выходы по току приведены

Состав	%
Кадмирование	85-95
Кислый электролит	95-100
Никелирование	90-97
Свинцевание	90-99
Серебрение	95-98
Золочение	95-98
Цианитный электролит	75-95

Характер защиты металлического покрытия зависит от электрохимической характеристики металла покрытия по отношению к основному металлу детали в условиях эксплуатационной среды [52]. Относительная электрохимическая характеристика металлов определяется значениями их стандартных электродных потенциалов, приведенных в таблице 1.6.

Таблица 1.6 Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах при 298° К

Металл	Электрод	Потенциал, В	Металл	Электрод	Потенциал, В	Металл	Электрод	Потенциал, В
Калий	K/K ⁺	-2,92	Цинк	Zn/Zn ²⁺	-0,76	Висмут	Bi/Bi ³⁺	+0,21
Барий	Ba/Ba ²⁺	-2,90	Железо	Fe/Fe ²⁺	-0,44	Сурьма	Sb/Sb ³⁺	+0,24
Кальций	Ca/Ca ²⁺	-2,87	«	Fe/Fe ³⁺	-0,037	Медь	Cu/Cu ²⁺	+0,34
Натрий	Na/Na ²⁺	-2,71	Кадмий	Cd/Cd ²⁺	-0,40	«	Cu/Cu ⁺	+0,52
Магний	Mg/Mg ²⁺	-2,36	Индий	In/In ³⁺	-0,34	Ртуть	2Hg/Hg ⁺	+0,79
Алюминий	Al/Al ³⁺	-1,66	Кобальт	Co/Co ²⁺	-0,28	«	Hg/Hg ²⁺	+0,85
Титан	Ti/Ti ²⁺	-1,63	Никель	Ni/Ni ²⁺	-0,25	Серебро	Ag/Ag ⁺	+0,80
«	Ti/Ti ³⁺	-1,21	Олово	Sn/Sn ²⁺	-0,14	Палладий	Pd/Pd ²⁺	+0,99
Марганец	Mn/Mn ²⁺	-1,18	«	Sn/Sn ⁴⁺	+ 0,007	Платина	Pt/Pt ²⁺	+ 1,88
Хром	Cr/Cr ²⁺	-0,91	Свинец	Pb/Pb ²⁺	-0,13	Золото	Au/Au ³⁺	+ 1,50
«	Cr/Cr ³⁺	-0,74	Водород	1/2H ₂ /H ⁺	0,00	«	Au/Au ⁺	+ 1,69

Восстановление гальваническим наращиванием крупногабаритных и сложной конфигурацией деталей (коренные опоры ДВС, валы тракторов, крышки КПП и ДВС, картер ДВС трактора, картер КПП, картер заднего моста и т.д.), которые связаны с многими технологическими трудностями (ванны больших размером, трудность подвешных устройств, сложная изоляция поверхностей, которые не подлежат восстановлению и т.д. По этой причине такие детали восстанавливаются вневаннным методом. Вневанный гальванический метод делится на: струйный, проточный и натиранием. [9]. В ремонтной практике актуальным, практичным и наиболее выгодным с экономической стороны является метод натирания Рисунок 1.5.

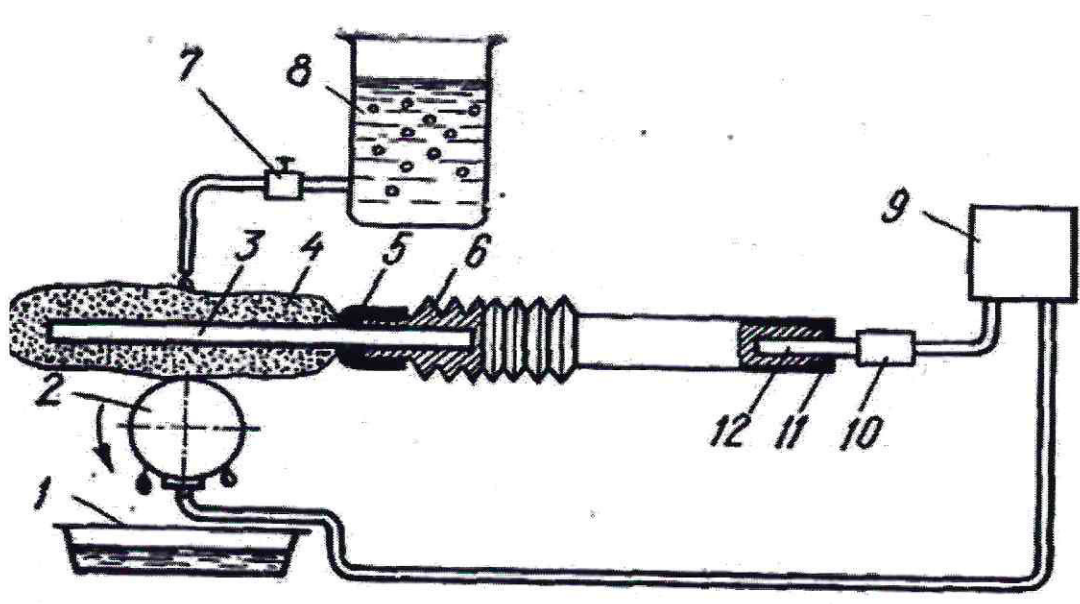


Рисунок 1.5 Электролитическое осаждение металла натирием:

1 – емкость для сбора электролита; 2 – деталь (катод); 3 – графитовый стержень (анод); 4 – тампон; 5 – пластмассовый колпачок; 6 – алюминиевый корпус; 7 – кран; 8 – резервуар с электролитом; 9 – источник тока; 10 – клемма; 11 – пластмассовая гайка; 12 – штекер для подвода тока к аноду.

Данный метод напрямую подходит именно для восстановления деталей, которые имеют внутреннюю поверхность. Электролитическое натирирование – это такое натирирование, когда анодом является устройство, состоящая из анодных пластин и тампонов, пропитанных электролитом, которое постоянно перемещается, тем самым нанося определенный слой металла на поверхность восстановленной поверхности. Процесс наращивания слоя металла на внутренние поверхности электролитическим натирированием осуществляется анодным устройством и специальным оборудованием. [12]

1.4 Устройство и оборудования, применяемые при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей деталей СХМ электролитическим натирированием

В процессе восстановления деталей сельскохозяйственной техники предлагается новое устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирирования на внутренние цилиндрические поверхности. Известно устройство для электролитического нанесения покрытий натирированием, содержащий корпус, секторы, которые шарнирно и упруго связаны с корпусом. Секторы с закрепленными анодными пластинами и закрепленным тампоном имеют возможность перемещаться радиально. Тампон выполнен в виде бесконечной ленты и закреплен на анодных пластинах с помощью фиксирующего

стержня, установленного за секторами и связанного с корпусом упругими элементами. (патент RU №2186158, МПК C25D5/06, опубликовано: 27.07.2002 бюл. № 21)

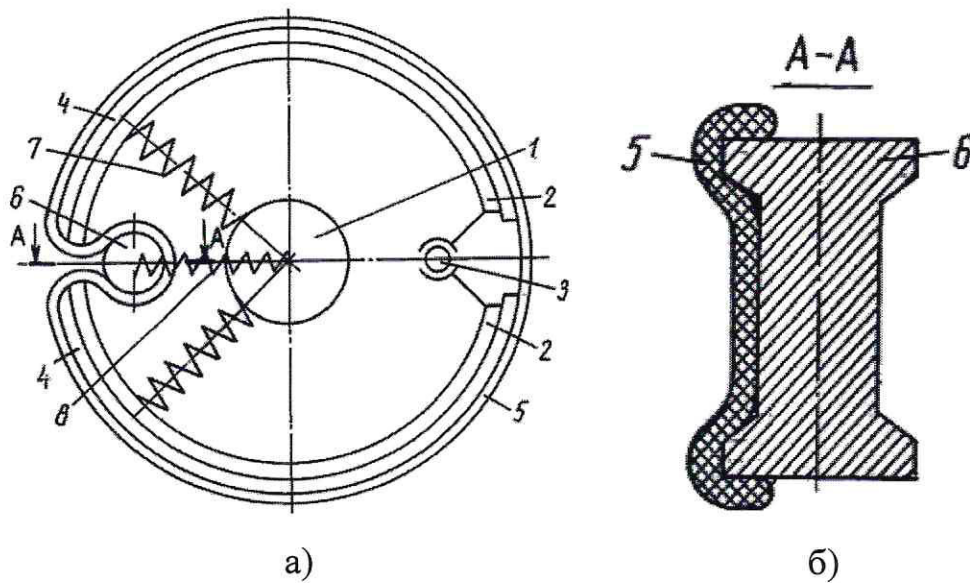


Рисунок 1.6 Устройство для электролитического нанесения покрытий натиранием, а) вид сверху (общий вид), б) разрез сечения А-А

1 – корпус; 2 – секторы; 3 – шарнир; 4 – анодные пластины; 5 – войлочный тампон; 6 – фиксирующий стержень; 7 – пружины сжатия; 8 – пружинами растяжения.

Недостатком данного устройства является малый диапазон размеров обрабатываемых деталей, неодинаковое давление анодных пластин, покрытых тампоном на различные участки поверхности обрабатываемой детали, приводящее к разным условиям протекания гальванического процесса, что снижает качество наносимого покрытия.

Так же имеется еще одно устройство для электролитического нанесения покрытий натиранием, содержащее вал и расположенный на нем копир, который имеет возможность перемещения по оси, закреплённые анодные пластины на секторах, покрытые тампоном. К тому же имеется пневмокамера, для регулирования расположения анодов с тампонами относительно цилиндрических отверстий в процессе нанесения слоя металла. (патент RU №2198965, МПК C25D5/06, опубликовано: 20.02.2003 бюл. № 5).

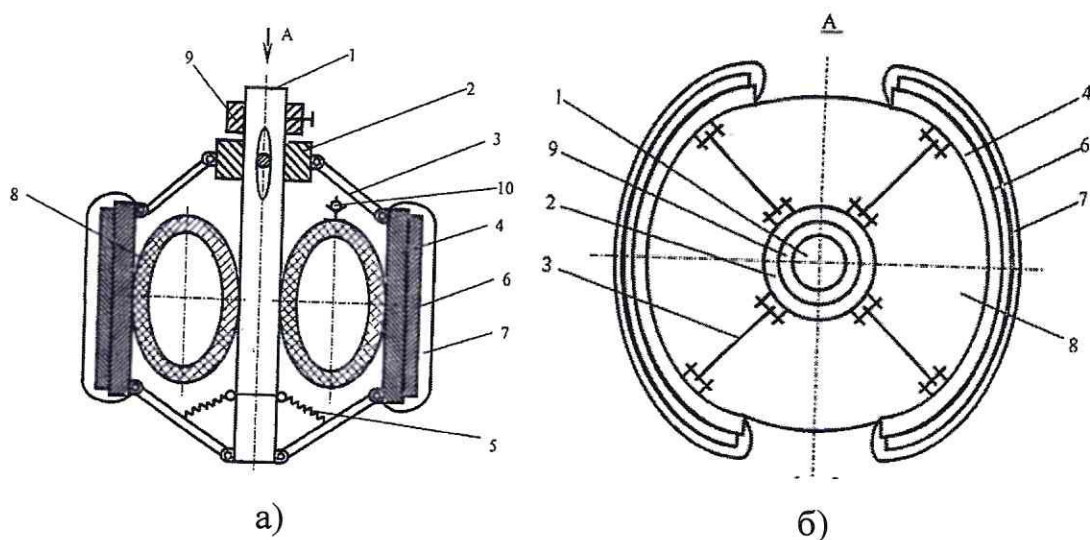


Рисунок 1.7 Устройство для электролитического нанесения покрытий натиранием; а) изображен общий вид устройства, а) вид сечения А

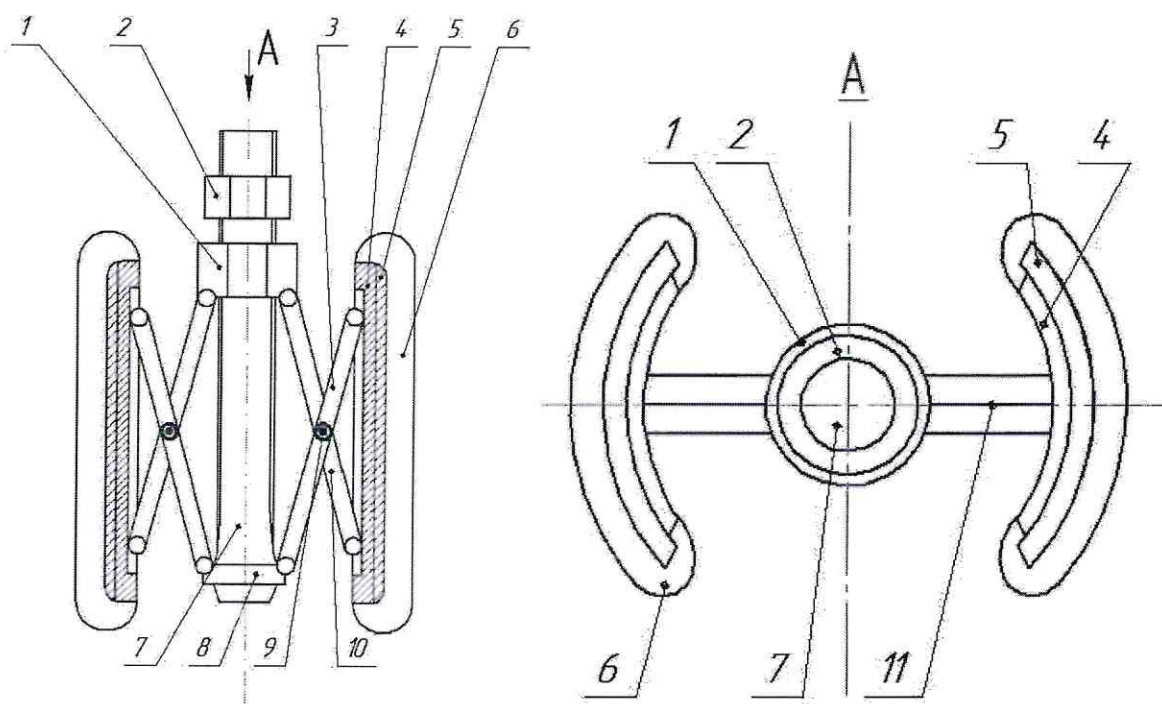
1 – вал; 2 – копир; 3 – рычаги фиксаторы; 4 – сектора; 5 - установочные пружины; 6 – анодные пластины; 7 – войлочные тампоны; 8 – упругая пневмокамера; 9 –фиксатор; 10 – обратный клапан.

Недостатками данного устройства является необходимость подачи сжатого воздуха в пневмокамеру, сложность регулирования постоянно одинакового давления анода с тампонами на поверхность детали в процессе электролитического нанесения покрытий натиранием, сопровождающийся неизбежным истиранием тампонов и истощением анодов.

Предлагается новое изобретение (патент RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7), которое направлено на устранение недостатков и проблем в известных, описанных выше устройствах для нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности методом электролитического натирания. Технической проблемой является создание устройства для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности с высокой производительностью формирования покрытия. Техническим результатом является: повышение производительности формирования покрытия за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали. Также достигается поддержание стабильных условий для электролиза,

устранение дендритообразования, повышение надежности и эффективности работы устройства, максимально упрощенная и простая технология устройства, повышение максимальной прочности сцепления.

Технический результат достигается тем что, в предлагаемом устройстве для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности, содержащем корпус, резьбовой вал, упорный подшипник, фиксирующую гайку, регулирующий ползун, плотно прилегающие анодные пластины с химически стойкими тампонами, новым является то, что оно оборудовано механизмом «ножницы», которые шарнирно закреплены в центральной части ведущего и ведомого полотна сходящиеся в близко-расположенных параллельных плоскостях с установленным в шарнирном механизме датчиком давления. Внешние концы ведущих полотен и внешние концы ведомых полотен закреплены в полозьях корпуса и имеют свободный ход в вертикальном направлении. Внутренние концы ведомых полотен шарнирно закреплены на корпусе упорного подшипника, внутренние концы ведущих полотен шарнирно закреплены на регулирующем ползуне. Предлагаемое устройство поясняется на рисунке 1.8:



а)

б)

Рисунок 1.8 Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности; а) изображен общий вид устройства; б) вид сверху сечения А-А

1 – регулирующий ползун, 2 – фиксирующая гайка, 3 – ведомое полотно, 4 – корпус, 5 – анод, 6 – тампон, изготовленный из химически стойкого материала, 7 – резьбовой вал, 8 – упорный подшипник, 9 – датчик давления, 10 – ведущее полотно, 11 – механизм «ножницы».

Химически стойкий тампон 6 и анод 5 плотно закреплены к корпусу 4, в котором имеются полозья, в полозья устанавливаются внешние концы ведущего 10 и ведомого полотна 3 механизма «ножницы» 11, который шарнирно закреплен в центральной части ведущего 10 и ведомого полотна 3 с установленным в шарнирном механизме датчиком давления 9. Ведущие 10 и ведомые полотна 3, сходятся в близкорасположенных параллельных плоскостях, внешние концы ведущих полотен 10 и внешние концы ведомых 3 полотен закреплены в полозьях корпуса и имеют свободный ход в вертикальном направлении, к тому же внутренние концы ведомых полотен 3 закреплены на корпусе упорного подшипника 8, а внутренние концы ведущих полотен 10 шарнирно закреплены на регулирующем ползуне 1. В зависимости от направления вращения резьбового вала 7 происходит перемещение регулирующего ползуна 1 вверх или вниз относительно упорного подшипника 8. На резьбовом валу 7 находится фиксирующая гайка 2, которая так же перемещается по резьбе для фиксации регулирующего ползуна перед нанесением покрытий.

Более высокоэффективный процесс нанесения слоя металла на поверхность выполняется за счет того, что на устройстве располагаются датчики давления, которые фиксируют силу давления анода с тампоном на поверхность восстанавливаемой детали и передают информацию на электронный блок управления.

Устройство работает следующим образом. Процесс нанесения покрытий на поверхность восстанавливаемой детали осуществляется малоуглеродистой анодной плотно закрепленной пластиной 5 и химически стойким тампоном 6, который прижимается к внутренней цилиндрической поверхности детали с помощью резьбового вала 7, регулирующего ползуна 1 и механизма «ножницы» 11. При вращении резьбового вала 7 по, или против часовой стрелки, происходит перемещение вверх или вниз регулирующего ползуна 1. Перемещение регулировочного ползуна приводит в действие механизм «ножницы» 11 в результате чего происходит перемещение корпусов 4 с закрепленными на них анодами 5 и тампонами 6 в сторону или от восстанавливаемой поверхности детали. В центральной части ведущего 10 и ведомого полотна 3 установлен в шарнирном механизме датчик давления 9, который фиксирует величину давления анода, покрытых химически стойкими тампонами на поверхность обрабатываемой детали и передает сигнал на электронный блок управления. В электронном блоке управления происходит сравнение заложенного в нем эталонного сигнала и сигнала с датчика давления 9. В случае если анод 5 покрытый тампоном 6 излишне или недостаточно плотно будет прижиматься к восстанавливаемой поверхности будет срабатывать звуковая сигнализация, на основании которой будут выполняться необходимые регулировки вращением резьбового вала 7 и закреплением в нужном положении регулирующего ползуна 1 фиксирующей гайкой 2.

Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности, содержащее корпус, резьбовой вал, упорный подшипник, фиксирующую гайку, регулирующий ползун, плотно прилегающие аноды с тампонами, отличающееся тем, что содержит механизм «ножницы», состоящий из ведущего и ведомого полотна, шарнирно закрепленных его в центральной части и сходящихся в близкорасположенных параллельных плоскостях с установленным в шарнирном механизме датчиком давления, причем внешние концы ведущих полотен и внешние концы ведомых

полотен закреплены в полозьях корпуса и выполнены с возможностью свободного хода в вертикальном направлении, причем внутренние концы ведомых полотен закреплены на корпусе упорного подшипника, а внутренние концы ведущих полотен шарнирно закреплены на регулирующем ползуне [49].

Таким образом, предлагаемое изобретение обеспечивает поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности что способствует повышению производительности технологического процесса, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали применением механизма типа «ножницы» и датчиков давления.

1.5 Задачи исследования

1. Провести экспериментальные исследования износов деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутренние поверхности.
2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования нанесение слоя металла электролитическим натиранием, изучить структуру и физико-механические свойства в процессе нанесения компонентов Fe-Zn.
3. Разработать способ восстановления электролитическим натиранием внутренних цилиндрических деталей СХМ и устройство для его осуществления.
4. Разработать технологический процесс восстановления и упрочнения на основе компонентов Fe-Zn деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности и определить его параметры.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОНАТИРАНИЕМ

2.1 Моделирование кинематических параметров электролиза композиционных гальванических покрытий

Один из основных и решающих моментов при восстановлении внутренних поверхностей деталей СХМ является определение давления анода $P_{\text{давления}}$ на восстанавливаемую поверхность, так как именно от этого фактора зависит прочность сцепления покрытия с деталью, микротвёрдость, изнашивания войлочного тампона, слой и время наращивания металла на восстанавливаемую деталь. Поэтому была проделана работа по моделированию кинематических параметров электролиза композиционных гальванических покрытий. Лабораторные исследования проводились на специальных образцах стали 30ХГСА ТУ 14-1-950-74. Основные остаточные напряжения определялись на установке УКООНТ. Установка предназначена для выявления параметров деформации, которая имеет тензометрический усилитель 8АНЧ-7М и автоматически производящий потенциометр КСП-4 [41].

Остаточные напряжения определяются в виде выражения

$$\sigma_x = \sigma_{XB} + \sigma_{XC} \quad (2.1)$$

где σ_{XB} – шеренговая составляющая, вычисляется по деформации образца при вырезке из образца, σ_{XC} – нешеренговая составляющая, определяется по кривой деформации при осаждении компонента на образец на исследуемую глубину.

Для того чтобы определить логарифмическую степень деформации берется интеграл бесконечного малого приращения

$$\delta_x = \int_{x_u}^{x_\partial} \frac{dx}{x} = \ln x \int_{x_u}^{x_\partial} = \ln \frac{X_\partial}{X_u} \quad (2.2)$$

Степень деформации приращения размера к исходному размеру определялась уравнением

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{X_\delta - X_u}{X_u} = \frac{\Delta x}{X_u} \\ \varepsilon_y &= \frac{Y_\delta - Y_u}{Y_u} = \frac{\Delta y}{Y_u} \\ \varepsilon_z &= \frac{Z_\delta - Z_u}{Z_u} = \frac{\Delta z}{Z_u}\end{aligned}\tag{2.3}$$

Таким образом, прижатие анода к восстанавливаемой поверхности весьма незначительное если сравнивать с механическими свойствами покрываемого покрытия, соответственно необходимо прийти к выводу, что будет осуществляться малая деформация (менее 0,01), тогда

$$\varepsilon = \delta$$

можно сказать

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$$

Из приведенного ранее выражения умножив на объем деформируемого тела, образуется выражение

$$V\delta_x + V\delta_y + V\delta_z = 0$$

Для небольших деформаций

$$V\varepsilon_x + V\varepsilon_y + V\varepsilon_z = 0$$

Следовательно, элементарный смещенный объем вычисляется

$$dV_{cz} = F_z dz\tag{2.4}$$

Где F_z параметр элементарного сечения восстанавливаемого участка в повторяющийся точный период времени процесса деформации

Из уравнения (2.3) если принимать к сведению, что $Y_{\text{и}}Z_{\text{и}} = F_{\text{иx}}$ и $Y_{\text{д}}Z_{\text{д}} = F_{\text{дx}}$, тогда

$$\frac{X_{\partial}}{X_u} = \frac{Y_u Z_u}{Y_{\partial} Z_{\partial}} = \frac{F_{ux}}{F_{\partial x}} \quad (2.5)$$

где F_{ux} и $F_{\partial x}$ - параметр элементарного сечения к оси x до и после процесса деформации

В процессе проведения экспериментальных исследований было обнаружено то, что цилиндрические образцы не полностью покрывались наращиваемым слоем осажденного металла, периодически не задетыми остаются скошенными полосы на основании цилиндра и лепестковые зоны на боковой поверхности. Причиной этому служит несовпадению оси симметрии цилиндра с его осью вращения и лишнее координирование посреди угловой скоростью вращения восстанавливаемой детали и скоростью возвратно-поступательного движения инструмента вдоль оси [43].

Примем за пример цилиндр, который имеет высоту H и радиус основания R, который в свою очередь вращается вокруг своей оси BB_1 , сдвинутый относительно оси цилиндра, рисунок 2.1. Примем расчетные значения, $OB = \varepsilon_1$, $O_1B_1 = \varepsilon_2$ и $\angle B_1O_1C = \alpha$. В таком случае вектор, направленный по оси вращения цилиндра, определяется параметрами ошибок ε_1 , ε_2 , α выражением:

$$\overrightarrow{BB_1} = -\overrightarrow{e_1}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cos \alpha) + \overrightarrow{e_2} \varepsilon_2 \sin \alpha + \overrightarrow{e_3} H \quad (2.6)$$

В данном случае векторы $-e_1$, $-e_2$, $-e_3$ ориентированы вдоль осей OX, OY, OZ.

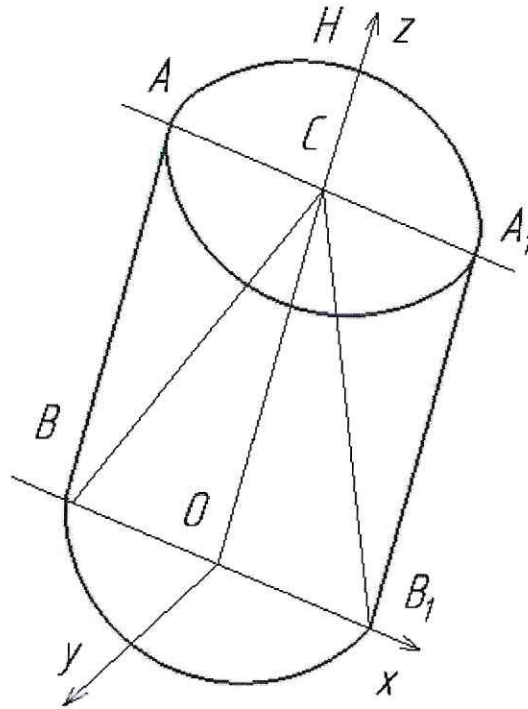


Рисунок 2.1 Иллюстрация цилиндрического образца по отношению анода

Далее мы можем определить угол между осью вращения и осью цилиндра из направляющего косинуса BB_1 следующим выражением:

$$\cos y = \frac{1}{\sqrt{1 + p^2 \varepsilon^2 (1 + 2\delta \cos \alpha + \delta^2)}} \approx 1 - p^2 \varepsilon^2 (1 + \delta \cos \alpha) \quad (2.7)$$

Где: $p = \frac{R}{H}$;

$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{R}$ – малый параметр;

$\delta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 1 + O_{(\varepsilon)}$, где $O_{(\varepsilon)}$ – величина одного порядка.

Исходя из уравнения 2.7 приобретаем значение \angle между осью вращения и осью цилиндра

$$y \approx p \varepsilon \sqrt{2(1 + \delta \cos \alpha)} \quad (2.8)$$

На самом деле по причине того, что во время процесса восстановления и наращивания слоя металла, рабочий инструмент (анод) продавливают поверхность наращиваемого покрытия, контактное взаимодействие происходит не в нужной позиции, а в некой области, шириной l . Для того чтобы улучшить контактное расположение в максимальной последовательности, необходимо расположение взаимного координирования угловой S вращения цилиндра и S поступательного движения рабочего инструмента (анода).

$$v = \frac{l\omega}{2\pi}$$

В том случае, когда толщина нажатия на покрытия будет h и при касании осуществляется контакт кромки анода, который обладает формой круга r , то площадь ширины контактного расположения находится по формуле

$$v \approx 0.45 \, wr \sqrt{\frac{h}{r} \left(1 - 0,25 \frac{h}{r}\right)}$$

Зона контакта рабочего инструмента (анода) при каждом вращении восстанавливаемой детали будет являться постоянной. Ниже приведена формула, которая определяет первоначальное давление и нажатие рабочим инструментом на поверхность:

$$P = \frac{\sigma_s}{1000} \left(1 - \frac{\mu_s h}{2a}\right) \quad (2.9)$$

где σ_s - предел прочности наносимого материала, кг/см^2 ;

μ_s - коэффициент контактного трения;

a - длина инструмента.

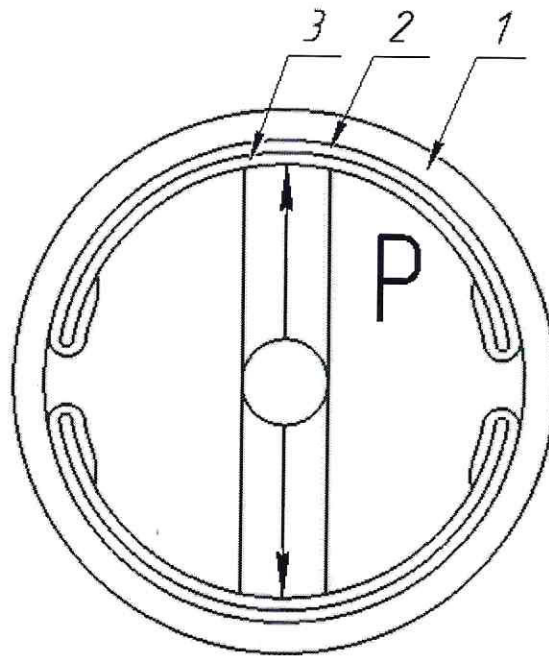


Рисунок 2.2 – Схема момента контакта рабочего инструмента (анода) с деталью:

1 – восстанавливая деталь; 2 – войлочный тампон; 3 – анод из малоуглеродистой стали

Следующее выражение показывает наиболее благоприятное и удовлетворительное давления рабочего инструмента (анода) на восстанавливаемую поверхность, которая в свою очередь дает значительно положительный качественный результат, быстроту наращиваемого слоя по времени, гладкую и ровную поверхность, удовлетворительную износостойкость и прочность покрытия:

$$P_k = \left(1 - \frac{T - T_0}{10n} k_T\right) \frac{S_k}{1000} \sigma_s \left(1 - \frac{\mu_s h}{2a}\right) \quad (2.10)$$

где: T – толщина покрытия, мкм;

T_0 – наиболее благоприятная толщина слоя покрытия, у которого нет необходимости регулировки давления инструмента, мкм;

n – толщина наносимого слоя за 1 минуту, мкм;

S_k – площадь контакта анода с восстанавливаемой поверхностью;

h – толщина слоя детали, осаждаемого за один оборот, мкм;

a – длина рабочего инструмента(анода).

2.2 Исследование физико-технологических свойств гальванических композиционных покрытий Zn-Fe-P

Цинксодержащие лакокрасочные покрытия находят широкое применение в практике коррозионной защиты судов, автомобилей, трубопроводов, энергетического и морского нефтепромыслового оборудования, на железнодорожном транспорте. Рассматривается перспективность замены до 40 масс % цинка в цинкнаполненном коррозионностойком покрытии. Для получения композиционного порошка цинк – железо – фосфор (Zn-Fe-P) предлагается технология, включающая совместное доизмельчение порошков цинка и феррофосфора в заданном соотношении [4]. Использование порошка цинка, полученный диспергированием расплава азотом. Для проведения экспериментов методом диспергирования расплава феррофосфора (17 масс. % фосфора) водой получают гранулы с дефектной мелкодисперсной структурой, которые измельчали в шаровой мельнице до порошка фракции менее 50 мкм со средним размером 12,5 мкм. Далее производится совместное доизмельчение порошков цинка и феррофосфора в истирателе ИВ-микро [38].

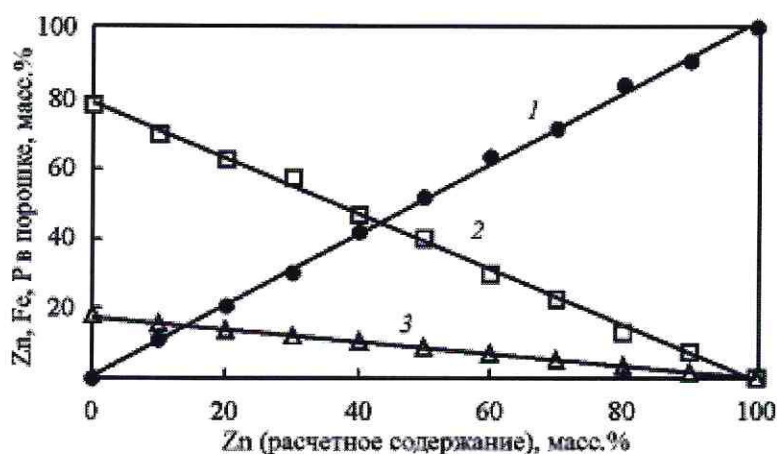


Рисунок 2.3 Содержание Zn (1), Fe (2), P (3) в композиционных порошках (масс. %) по данным химического анализа в зависимости от расчетного содержания Zn в порошковой шихте (масс. %).

Исследуются свойства порошков, химический состав смесей, их гранулометрический состав, насыпная плотность, плотность утряски до и после измельчения, морфология частиц и фазовый состав. Изменение химического состава композиционных порошков по основным элементам (Fe, P, Zn) после совместного доизмельчения подчиняется линейным зависимостям. Это свидетельствует о хорошей однородности порошков по составу, так как на анализ взяты случайные пробы. Зависимости насыпной плотности (C_H), плотности утряски (C_y) до и после измельчения от содержания феррофосфора (Fe – P) могут быть описаны уравнениями:

$$C_H \text{ (до измельчения)} = 3,02 - 0,0039 \cdot X_{Fe-P},$$

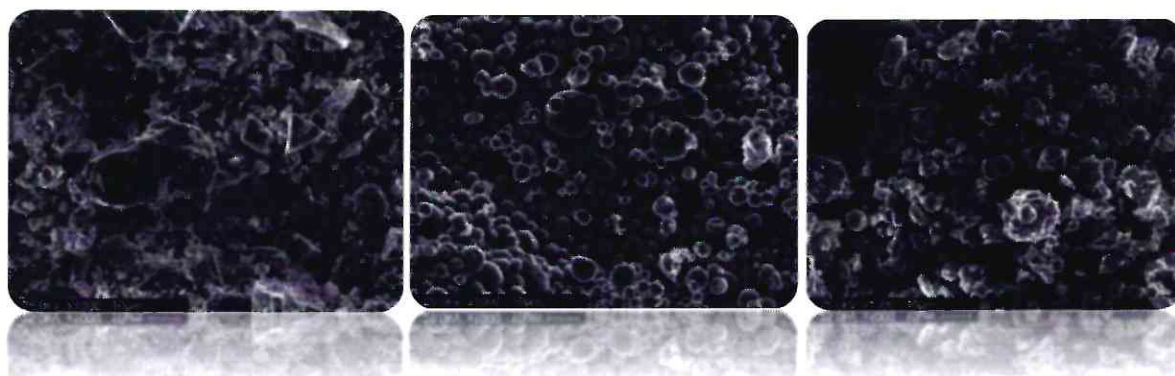
$$C_H \text{ (после измельчения)} = 3,01 - 0,0068 \cdot X_{Fe-P},$$

$$C_{yтр} \text{ (до измельчения)} = 3,93 - 0,0019 \cdot X_{Fe-P},$$

$$C_{yтр} \text{ (после измельчения)} = 4,32 - 0,016 \cdot X_{Fe-P} + 0,00012 \cdot X_{Fe-P}^2,$$

где X_{Fe-P} — массовая доля феррофосфора, масс.%. Изменение этих характеристик связано, на наш взгляд, с различной формой и размером частиц до и после измельчения.

Порошок исходного феррофосфора имеет осколочную форму частиц (рисунок. 2.4 а). Порошок исходного цинка имеет сферическую форму, имеются частицы овальной формы и спекшиеся между собой конгломераты частиц (рисунок. 2.4 б). По мере добавления феррофосфора в цинк после совместного измельчения появляется больше частиц равноосной формы. Частицы блестят как цинковые, есть сферические частицы и овальные (рисунок. 2.4 в).



а)

б)

в)

Рисунок 2.4 Морфология частиц порошка феррофосфора (а), цинка (б) и композиционного порошка цинк–железо–фосфор (в).

На центрифугальном анализаторе размеров частиц марки SA-CP2 проводится анализ состава частиц исходных порошков цинка и феррофосфора до и после измельчения в истирателе [42]. Исходный порошок феррофосфора имел удельную поверхность $720 \text{ см}^2/\text{г}$ при среднем размере частиц $12,5 \text{ мкм}$. Распределение частиц по размерам до и после измельчения представлено на рисунке. 3а, кривые 1, 2. Видно, что доизмельчение в этом случае происходит за счёт наиболее крупных частиц. Средний размер частиц после истирания составил $9,25 \text{ мкм}$, удельная поверхность ($S_{уд}$) — $915 \text{ см}^2/\text{г}$.

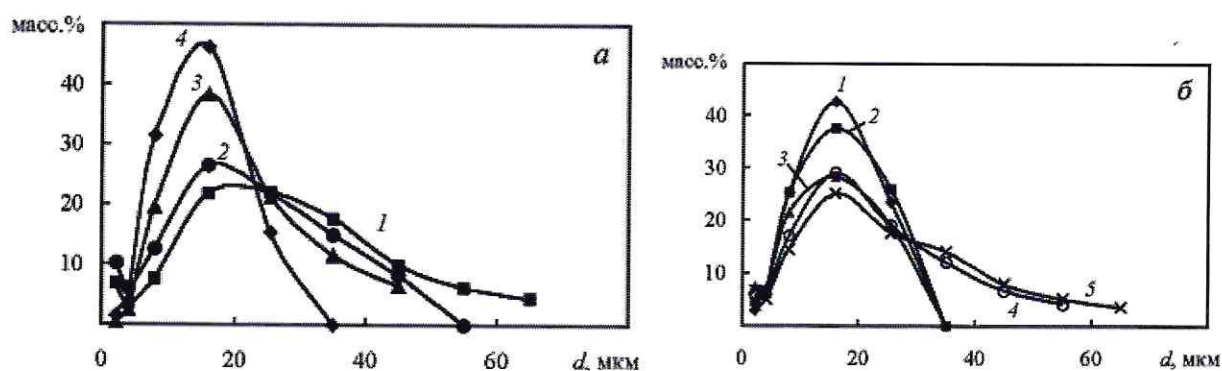


Рисунок. 2.5 Распределение частиц феррофосфора и цинка

На рисунке 2.5 представлено распределение частиц по размерам в зависимости от доли феррофосфора в порошковой смеси. Из рисунка видно, что увеличение доли Fe – P в смеси сдвигает кривую распределения по размерам от кривой измельченного цинка к измельченному феррофосфору. При этом пик на кривой, присущий распределению цинка по размерам, снижается, переходя в более пологую кривую распределения феррофосфора. Этот факт свидетельствует о дополнительном измельчении частиц цинка при совместном доизмельчении. Средний размер частиц композиционных порошков составляет $9,2 - 10,5 \text{ мкм}$.

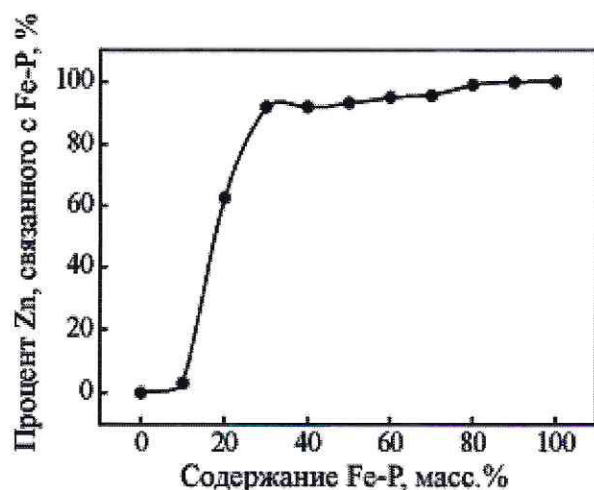


Рисунок 2.6 Содержание цинка в магнитной фракции

Для уточнения роли плакирования частиц феррофосфора цинком при различных составах смесей провели эксперимент по разделению готовых порошков на магнитную и немагнитную составляющие [44]. Оценивается доля цинка, связанного с феррофосфором, то есть процент цинка, перешедшего в магнитную фракцию (рисунок 2.7). Видно, что количество цинка, связанного с феррофосфором, увеличивается с увеличением доли феррофосфора и, начиная с 30 %, составляет более 90 % от общей массы цинка в композиционном порошке Zn – Fe – P.

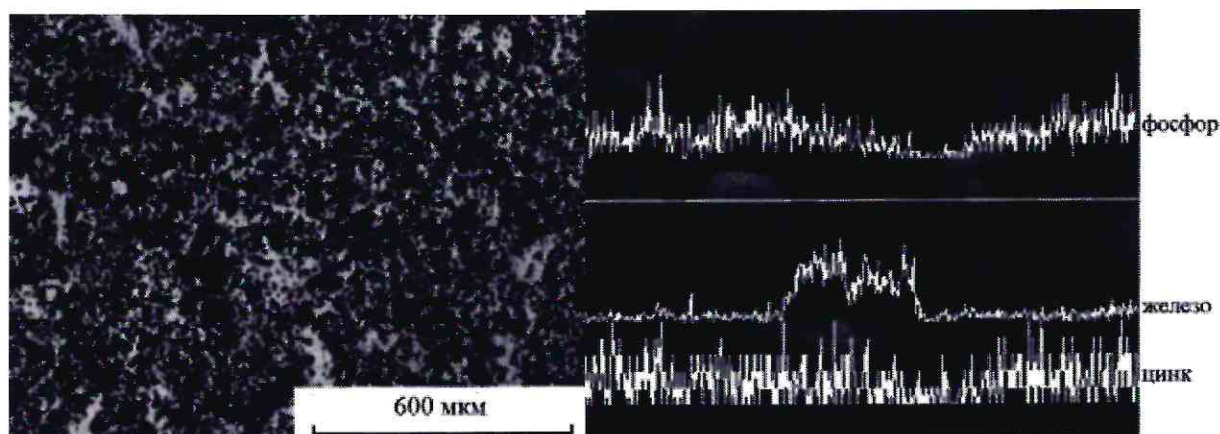


Рисунок 2.7 Снимок металлографического шлифа прессованной таблетки (а): тёмная фаза — феррофосфор, светлая — цинк. Микрорентгеноспектральный анализ (б) таблетки, прессованной из шихты 40 % F – P + 60 % Zn. Металлографическое исследование шлифа прессованной таблетки показало, что таблетка представляет собой механическую смесь частиц феррофосфора и

цинка, однородных по размеру и равномерно распределенных. Микрорентгеноспектральный анализ подтверждает равномерное распределение цинка на частицах порошка железо – фосфор. Фазовый состав прессованной таблетки: цинк, Fe_2P , Fe_3P .

Исследование физико-технологических свойств порошков системы $\text{Zn} - \text{Fe} - \text{P}$ показало, что порошки с содержанием феррофосфора более 20 масс. % являются магнитными за счет плакирования частиц феррофосфора цинком. Рентгенофазовый анализ прессовок из композиционного порошка показал, что он представлен фазами Fe_2P , Fe_3P , Zn . На центрифугальном анализаторе частиц по размерам установлено, что доизмельчение происходит за счет более крупных частиц. Средний размер частиц после обработки в истирателе во всём диапазоне составил от 9,0 до 13,2 мкм. Это наиболее благоприятный размер порошка для цинкнаполненных покрытий. Микрорентгеноспектральным анализом подтверждено равномерное распределение цинка на порошке феррофосфора. После совместной обработки в истирателе порошков феррофосфора и порошка цинка, распыленного азотом, получились композиционные порошки $\text{Zn} - \text{Fe} - \text{P}$ различного состава.

2.3 Теоретическое обоснование повышения производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием

Одним из важных качественных показателей восстановленных поверхностей является износостойкость. В связи с этим была разработана методика теоретических исследований износостойкости гальванопокрытий на основании, которого получены аналитические зависимости качественных показателей. Полином $Z=P(x,y)$ в трехмерном пространстве задает поверхность, которая в явном виде показывает зависимость исследуемого параметра износостойкость

натираемой поверхности от изменения температуры электролита. Исследование поверхностей проводится с помощью функции нескольких переменных методом дифференциальных исчислений [32].

Основная задача состоит в том, чтобы для технологического параметра (износостойкость натираемой поверхности) в зависимости от силы тока, найти такую температуру электролита, при которой этот параметр достигал бы максимума своего значения. Графическое решение этой задачи приведено на рисунке 2.8. При фиксированном значении одного из параметров $\varphi_i = x_i$ проводится плоскость.

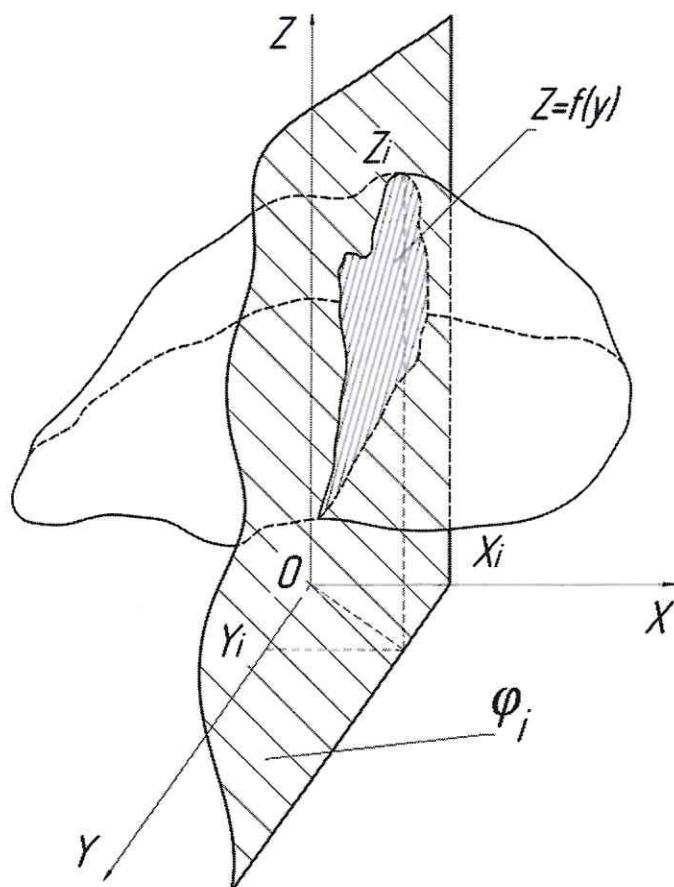


Рисунок 2.8 Зависимость износостойкости от температуры и силы тока: Z – исследуемый показатель износостойкости; X – коэффициент, характеризующий силу тока; Y – коэффициент, учитывающий температуру электролита

Тогда в результате пересечения поверхностей $Z=P(x;y)$ и секущей плоскости образуется кривая вида $Z=f(y)$. Используя методы дифференциального исчисления, определяется максимальное (\max) значение функции $Z=f(y)$ в области изменения параметра y (температуры электролита). Пусть y_i есть \max этой функции. Следовательно, в точке с координатами $x_i; y_i$ кривая $Z=f(y)$, лежащая на поверхности $Z=P(x;y)$ достигает своего \max , т.е. физически это означает, что заданной силе тока $\varphi_i = x_i$ соответствует температура электролита $K = y_i$ (рисунок 2.8). Изменив x_i в заданных пределах, можно определить \max других показателей. Тогда каждому значению $x_i; y_i$ на поверхности $Z=P(x;y)$ будет соответствовать своя точка максимального Z_i .

Последовательно проводя рассечение по указанной методике на поверхности $Z=P(x;y)$, можно получить систему точек $\{Z_i\}$, соединив которые получим кривую на поверхности $Z=P(x;y)$ от силы тока φ при \max исследуемого технологического фактора. Ортогонально спроектировав эту кривую на плоскость, можно получить графическую зависимость температуры электролита от силы тока φ .

Аналитически это можно представить, как исследование полученной поверхности.

Тогда, обобщенное уравнение поверхности можно представить в следующем виде:

$$P = (x; y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x^i y^j \quad (2.11)$$

Приняв $x = x_0$ и подставив это в уравнение (4), можно получить частное выражение вида:

$$P = (x; y) \Big|_{x=x_0} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x_0^i y^j \quad (2.12)$$

В результате преобразования уравнения (5), получится выражение:

$$Z = f(y) = \sum_{j=1}^m b_j y^j, \quad (2.13)$$

где

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i$$

Данное выражение описывает кривую пересечения секущей плоскости с поверхностью.

Продифференцировав функцию (6) по y можно получить уравнение вида:

$$Z = f'(y) = \sum_{j=1}^m j b_j y^{j-1}, \quad (2.14)$$

Определив стационарные точки функции $Z = f(y)$, т.е. решив уравнение $f'(y) = 0$, можно оценить его корни. Пусть y_1, y_2, \dots, y_m корни уравнения $f'(y) = 0$. Рассчитав $Z_K = f(x_K)$ $K = \overline{1, m}$ и выбрав из последовательности Z_K \min значение функции, обозначив ее через Z_0 , можно найти значение переменной y_0 , соответствующее Z_0 . Таким образом, для некоторого фиксированного значения $\varphi_0 = x_0$ определено значение температуры электролита, при которой значение исследуемого параметра достигает максимального значения.

Дальнейшие исследования направлены на определение оптимального состава электролита и режимов электролитического натирания, таких как сила тока I , давление инструмента P_i на поверхность детали, площадь контакта инструмента S_k и обрабатываемой зоны [42].

Определяется режимы гальванического нанесения железа при восстановлении посадочного места под подшипник в корпусе.

Расчет площади покрываемой поверхности F_k , дм^2 , находим из выражения [31]:

$$F_k = \pi d_i l 10^{-4}, \quad (2.15)$$

где d_i - диаметр посадочного места, мм;

l - высота посадочного места, мм.

Численное значение расчетного показателя имеет следующее значение:

$$F_k = 3,14 \cdot 110 \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 1,727 \text{ дм}^2.$$

Необходимую силу тока для осаждения I , А, рассчитаем из выражения [15]:

$$I = D_k F_k, \quad (2.16)$$

где D_k - катодная плотность тока, А/дм².

$$I = 15 \cdot 1,727 = 25,9 \text{ А}.$$

Катодная плотность тока D_k при ваннных методах гальванического осаждения, к примеру железа, равна 10...15 А/дм² [39].

Формула расчета продолжительности t_p , ч, осаждения железа в часах [25]:

$$t_p = \frac{10 h \gamma}{D_k E \eta}, \quad (2.17)$$

где h – толщина слоя покрытия на сторону, мм;

γ - плотность железного покрытия ($\gamma=7,8 \text{ г/см}^3$);

$E = 1,042 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$ – электрохимический эквивалент железа;

$\eta = 0,80 \dots 0,95$ – выход железа по току.

Если рассмотреть формулу (3), то уменьшить время гальванического нанесения покрытий теоретически возможно, лишь увеличением катодной плотности тока D_k , так как остальные параметры имеют постоянную величину и зависят от вида осаждаемого металла. Известно, что увеличение катодной плотности тока, при ваннных методах осаждения металлов, возможно только до определенного уровня, как было упомянуто выше, для железа эти величины лежат в пределах 10...15 А/дм². При увеличении же катодной плотности, в данном случае, начинается процесс образования наростов с рыхлой кристаллической решеткой, называемые дендритами которые резко ухудшают качество наносимого покрытия [2]. Решение проблемы дендритообразования,

с одновременным увеличением скорости гальванического нанесения покрытий, возможно применением электролитического осаждения методом натираия, так как согласно некоторым литературным источникам катодную плотность тока D_k в данном случае можно увеличить до 100..150 А/дм². Таким образом, теоретически возможно увеличение скорости осаждения металлов при восстановлении изношенных деталей нанесением гальванических покрытий методом электролитического натираия в 10 раз по сравнению с ванным методом.

Найдем расчетную продолжительность гальванического нанесения покрытия методом электролитического натираия t_{pH} , ч:

$$t_{pH} = \frac{10 \cdot 0,3 \cdot 7,8}{100 \cdot 1,042 \cdot 0,8} = 0,28 \text{ часа.}$$

2.4 Расчет технического и технико-экономического критерия и выбор рационального способа восстановления деталей СХМ имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхность

Существуют технические критерии оценивающие каждый способ восстановления, выбранный по технологическому критерию с точки зрения обеспечения качества поверхностей восстановленной детали. Для примера в качестве возможных способов восстановления деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхность возьмем выше перечисленные методы и сравним их все по отдельности.

Рассчитаем для каждого из способов технический и технико-экономический критерии. Значения коэффициентов при расчете определяем из таблицы 2.1.

Таблица 2.1 Коэффициенты технико-экономически показателя

№	Возможные способы восстановления	K_i	K_B	K_C
3.	Плазменная наплавка	0,91	0,89	0,9
4.	Электроискровое наращивание	0,94	0,63	1
5.	Гальваническое натирание	0,89	0,94	1

Значение коэффициента K_D примем для всех способов восстановления равным 0,8.

1. Плазменная наплавка:

$$K_D = K_i \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_D, \quad (2.18)$$

где K_D - коэффициент долговечности;

K_i - коэффициент износостойкости;

K_B - коэффициент выносливости;

K_C - коэффициент сцепляемости;

K_D - поправочный коэффициент.

$K_i = 0,91$; $K_B = 0,89$; $K_C = 0,9$;

$$K_D = 0,91 \cdot 0,89 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,58$$

2. Электроискровое наращивание:

$K_i = 0,94$; $K_B = 0,63$; $K_C = 1$;

$$K_D = 0,94 \cdot 0,63 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,47$$

3. Гальваническое наращивание натиранием:

$K_i = 0,89$; $K_B = 0,94$; $K_C = 1$;

$$K_D = 0,89 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,66$$

Технико-экономический критерий связывает стоимость восстановления детали с ее долговечностью после устранения дефектов. Условие технико-экономической характеристики эффективности способа восстановления детали предложено профессором Казарцевым В. И.:

$$C_B \leq K_D \times C_H, \quad (2.19)$$

где C_B – стоимость восстановления детали, руб.;

K_D – коэффициент долговечности;

C_H – стоимость новой детали, руб.

По условию $K_D \rightarrow \max$, соответственно наиболее эффективным и целесообразным способом является гальваническое наращивание натиранием.

Рассмотрим технико-экономические критерии способов восстановления, используя формулу. Значения C_B также принимаем из таблицы литературы [1].

$$K_T = C_B / K_D, \quad (2.20)$$

где K_T – коэффициент технико-экономической эффективности;

C_B – себестоимость восстановления 1 м² изношенной поверхности детали, руб/м².

Эффективным будет считаться способ, у которого $K_T \rightarrow \min$. Если K_T будет больше стоимости 1 м² новой детали, необходимо решить вопрос о целесообразности восстановления детали.

1. Плазменная наплавка :

$$C_B = 990 \text{ руб/м}^2;$$

$$K_T = 990/0,58=1706,9;$$

$$990 \leq 0,58 \cdot 3635;$$

$$990 \leq 2108,3 \text{ (верно).}$$

2. Электроискровое наращивание:

$$C_B = 1040 \text{ руб./м}^2;$$

$$K_T = 1040/0,47=2212,8;$$

$$1040 \leq 0,58 \cdot 3635;$$

$$1040 \leq 2108,3 \text{ (верно).}$$

3. Гальваническое наращивание нитрированием :

$$C_B = 880 \text{ руб/м}^2;$$

$$K_T = 880/0,66=1333,4;$$

$$880 \leq 0,66 \cdot 3635;$$

$$990 \leq 2399,1 \text{ (верно).}$$

Предпочтительным является способ у которого $K_T \rightarrow \min$. В данном примере это будет гальваническое наращивание нитрированием, но так как K_d - плазменной наплавки, электроискрового наращивания; меньше чем у гальванического наращивания, руководствуясь техническим соображениям, окончательно более приемлемым в качестве рационального способа восстановления дефекта будет гальваническое наращивание нитрированием, которая обеспечивает наибольшую долговечность изделия.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Программа предусматривает исследование твердости, износостойкости и толщины покрытия. При проведении исследований для измерения размеров использовали индикаторный нутромер, для измерения твердости - твердомер ТК 2М, для измерения износостойкости использовали машину трения 77 МТ-1, для определения толщины покрытия использованы аналитические весы AND HR – 200.

Результаты измерений обработаны методами математической статистики с использованием прикладных программ Excel. В результате математической обработки получены математические модели, характеризующие зависимость качественных показателей от различных факторов и режимов восстановления. При проведении лабораторных исследований использовались также разработанные на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» средства измерения.

Программой исследований предусмотрено:

- провести исследования износов внутренних поверхностей цилиндрических поверхностей деталей СХМ;
- провести экспериментальные исследования способов нанесения гальванических Fe-Zn покрытий методом натирания и определение их физико-механических свойств;
- теоретическое обоснование толщины наращивания;
- провести исследование влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия;
- провести исследования влияния температуры электролита на толщину покрытия, выхода по току и содержания железа;
- провести исследования влияния катодной плотности тока в процессе гальванического натирания;

- провести исследования влияния параметров гальванического процесса на твердость покрытий.

3.2 Общая методика исследований

В лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ была собрана установка для нанесения покрытия на гильзы цилиндров методом электролитического натирания, представленная на рисунок 3.1. Нами были проведены экспериментальные исследования для получения покрытий в Fe-Zn-P электролите, для восстановления внутренних поверхностей деталей СХМ гальваническими электролитическим натиранием.

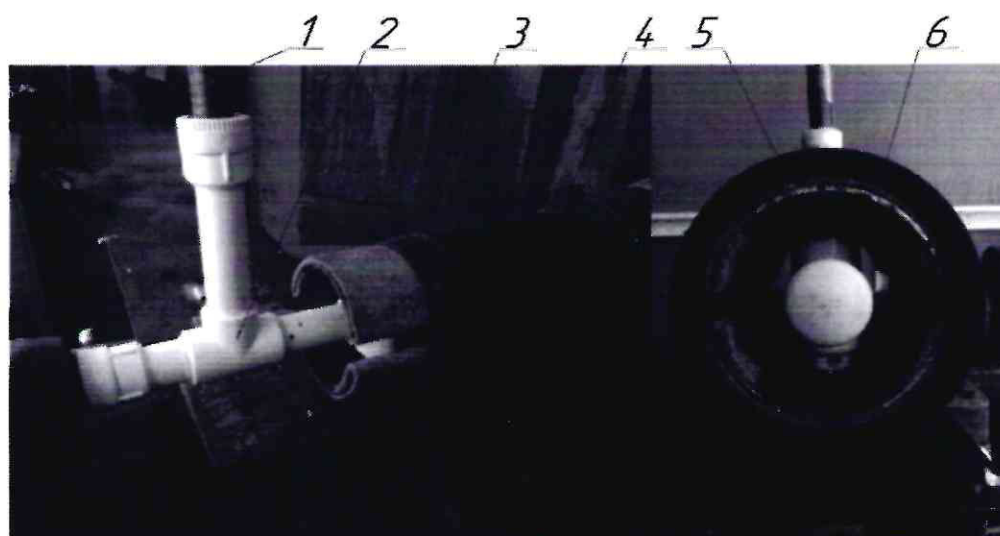


Рисунок 3.1 Устройство для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей:

1 – штуцер, 2 – труба-питатель, 3 – восстанавливаемая деталь, 4 – трехкулачковый патрон станка, 5 – подпружиненный анод, 6 – войлочный тампон

Лабораторные исследования проводились в следующей последовательности. В заднюю бабку токарно-винторезного станка устанавливают трубу-питатель 2 с закрепленными на ней подпружиненными анодами 5 и с закрепленными тампонами из войлока 6, в трехкулачковый патрон станка 4 устанавливают деталь 3, перемещением задней бабки вводят трубу-питатель 2 в деталь 3. Электролит подают при помощи системы патрубков для смачивания тампо-

нов через штуцер 1. Далее соединяют клеммы для подключения электрического тока. К анодному узлу электрический ток подают через аноды, а к детали через роликовый контакт. Далее включают вращение станка, включают подачу электрического тока, подают электролит и производят электролитическое нанесение гальванических покрытий натиранием.

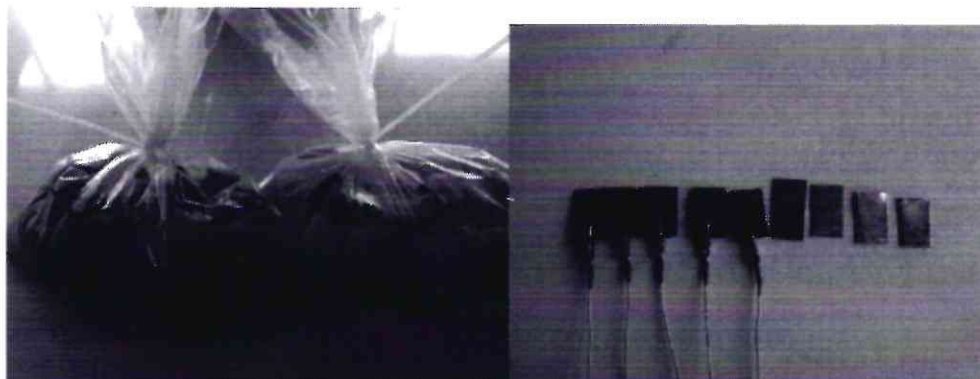


Рисунок 3.2 Процесс проведения экспериментов

Аноды при гальваническом натирании – растворимые, изготовлены из малоуглеродистой стали, с содержанием углерода до 0,20 %. Для защиты электролита от загрязнения шламом, образующимся при растворении анодов, их поместили в чехлы из стеклянной ткани.

Технологическая операция электронатирания заключается из следующих процессов: 1) промывки в бензине или керосине детали; 2) механической обработки и зачистка детали; 3) зачистка восстанавливаемой поверхности шлифовальной бумагой; 4) установки детали в нужное положение в изоляционной месте с воздухопроводом; 5) обезжиривания венской, известью; 6) промывки в проточной воде; 7) анодного травления; 8) промывки горячей водой; 9) гальваническое натирание; 10) промывки горячей водой; 11) промывки в растворе соды; 12) промывки горячей водой; 13) разборки и снятия; 14) сушки деталей; 15) старения; 16) механической обработки.

Перед процессом восстановления для наилучшей сцепляемости осадка деталь прокипятили в 10%-ном растворе каустической соды. Продолжительность кипения 15-20 мин.

Анодное травление производили в электролите, катод состоит из сульфата цинка, сульфата железа, сплав фосфора, также в не больших количествах добавляется серная кислота. У электролита удельный вес должен быть 1,23. Пластины крепятся на устройство и являются анодом, катодом служит восстанавливаемая деталь. Для каждого эксперимента изготавливаем новый электролит. Продолжительность обработки составляет 0,5-3,0 мин, при этом плотность тока должно быть до 0,30 А/см². Плотность тока возрастает с повышением у стали углерода.

Исследование показали, что гальваническим натиранием обеспечивается поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности, что способствует повышению производительности технологического процесса в 9,87 раза, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы

устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали.

3.3 Методика определения твердости покрытия

Испытания на твердость покрытий, полученных методом натирания в Fe-Zn-P электролите, проводили твердомером ТК 2М. Самым распространенным и простым механическим методом определения твердости покрытия является вдавливание. Наконечник (индентор) в форме конуса, пирамиды или шарика вдавливается в испытуемый образец (в нашем случае пластины), под определенной нагрузкой и продолжается определенное время.

Преимущество механических испытаний по сравнению с другими методами: размеры отпечатка получается очень маленькими, поэтому не требуется изготовление специальных образцов; поверхность детали не повреждается, поэтому замеры на твердость можно проводить непосредственно на рабочих деталях [8].

При испытаниях на твердость какой-то объем материала деформируется. При прилегание маленькой нагрузке, деформируемый объем уменьшается, поэтому точнее выявляется распределение свойств образца.

Сущность метода определения твердости по Роквеллу состоит в том, что алмазный конус вдавливается в испытуемый образец с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1/16 дм (1,58 мм). Шарик и алмаз вдавливаются в испытуемый образец под действием двух последовательно применяемых нагрузок — предварительной P_1 . Предварительная нагрузка во всех случаях равно 10 кгс. Основная и общая нагрузка при вдавливании стального шарика (шкала В) составляют $P=100$ кгс, а алмазного ко-

нуса (шкала С) – $P=150$ кгс[26]. Перед испытанием на твердость нужно обращать внимание на то, что поверхности алмазной пирамиды и испытуемого образца должны быть сухими. При испытании на твердость использовали выше перечисленные нагрузки: 0,049; 0,098; 0,196; 0,49; 0,98; 1,96; 4,9 Н (5; 10; 20; 50; 100; 200; 500 г). Поверхности испытуемого образца были плоскими, гладкими, и очищены от загрязнений. Нагружение алмазного шарика во время испытания вели плавно и медленно, чтобы не исказились размеры отпечатка. Продолжительность нагрузки составляет 5 с. По ГОСТу 9450-76 испытания на твердость можно проводить металлы любой твердости. Установлено, что можно испытывать как твердые, в том числе алмаз, которой обладает твердостью более 98000 МН/м^2 ($10\,000 \text{ кг/мм}^2$), так и мягкие металлы, твердость у которых составляет менее $9,8 \text{ МН/м}^2$ (1 кг/мм^2). Твердость металла определяли прибором ТК-2М [51], (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3- Твердомер ТК-2М

При испытании на твердость на приборе ТК-2М последовательность операций следующая:

- 1) подготовка испытуемого образца;

- 2) настройка прибора ТК-2М;
- 3) вдавливание алмазного конуса в испытываемую поверхность;
- 4) определение значения твердости покрытия.

Технология изготовления и состояние испытываемого образца существенно влияют на твердость при испытании, были разработаны несколько методов изготовления шлифов для испытания на твердость: тщательная механическая обработка — полировка и шлифовка; электрополировка после чистовой механической обработки; химическая травление поверхности шлифа после полировки и шлифовки; рекристаллизационный отжиг готового шлифа и др.[36]. Перед началом испытания приготовленный образец ставится на столик прибора ТК-2М так, чтобы образец была строго перпендикулярна к направлению перемещения алмазного конуса при вдавливании.

Прибор ТК-2М во время испытания на твердость, должен быть на подкладке из губчатой резины. Испытания должны проводиться непыльным и сухом помещении, а стол должен быть жестко креплен. Во время испытаний прибор нужно предохранять от вибраций, которые могут передаваться через пол или стены здания, так как при малых нагрузках, это может влиять на результат при определении твердости.

Испытание на приборе ТК-2М проводится следующим образом. Подвесив грузы и вставив в оправку шарик или алмаз, испытываемый образец кладём на столик. При помощи маховичка образец подводим к алмазному конусу и слегка вдавливаем его до достижения предварительной нагрузки 10 кгс. При этом на цеферблате индикатора маленькая стрелка устанавливается против черной точки. Затем ободок индикатора поворачиваем так, чтобы ноль черной шкалы совпал с большой стрелкой. Легким нажатием руки на клавишу автоматически включается грузовой рычаг с грузами. Затем освобождаем рукой рукоятку и она плавно с помощью масляного амортизатора перемещается до упора. Перемещение рукоятки сообщает испытываемому образцу через рычаг основную нагрузку P , величина которой зависит от величины груза, приведенного к рычагу. При этом нагружение большая стрелка перемещается по

цеферблату против часовой стрелки. Время приложения основной нагрузки длится 3-6 сек. Затем рукоятку прибора плавно переводим в исходное положение и тем самым снимаем основную нагрузку через 1-3 сек после резкого замедления движения стрелки индикатора, но оставляем предварительную [19]. При этом большая черная стрелка индикатора перемещается по часовой стрелке. Цифра, которую указывает на шкале большая стрелка, и представляет число твердости по Роквеллу. Эта цифра фиксируется. Отсчет результатов измерения твердости по шкале индикатора производим при продолжающемся действии на наконечник предварительной нагрузки P_0 .

Для отсчета числа твердости служит индикаторный прибор. На его циферблате (рисунок 3.4) имеется две шкалы: черная С и красная В, каждая имеет по 100 делений.

Шкала В смещена относительно шкалы С на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора при внедрении наконечника.

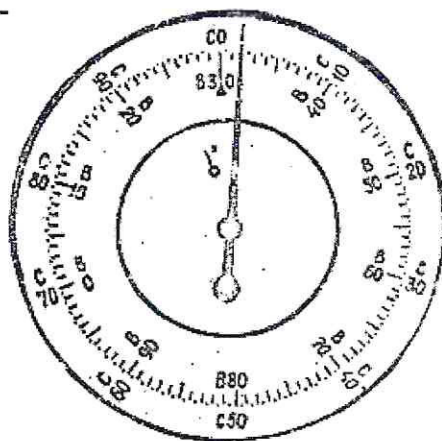


Рисунок 3.4 - Индикаторный прибор твердомера ТК-2М

Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рисунок 3.5

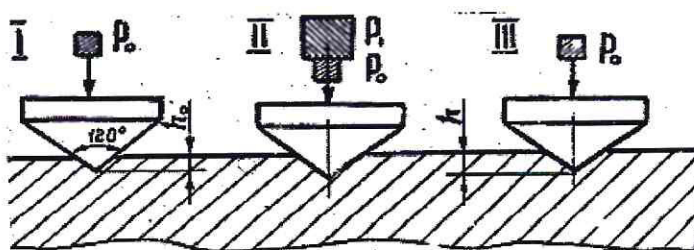


Рисунок 3.5 - Схема определения твердости по Роквеллу

Формула для вычисления твердости по Роквеллу HR:

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c}, \quad (3.1)$$

где h_0 – глубина вдавливания наконечника под действием предварительной нагрузки, мм;

h – глубина вдавливания наконечника под действием общей нагрузки, мм;

k – постоянная величина, равная 0,2 мм для алмазного конуса и 0,26 мм для шарика;

c – цена деления шкалы индикаторного прибора равная 0,002 мм.

Твердость по Роквеллу обозначается цифрами и буквами. Число характеризуют число твердости, а буквы HR указание шкалы твердости, например 60 HRC.

Таблица 3.1 - Выбор шкалы твердости, вида наконечника и нагрузки

Твердость металла HB, кгс/мм ²	Тип наконечника	Обозначение шкалы	Допустимые границы измерения твердости	Нагрузка, кгс
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	V	25 – 100	100

Число твердости по Роквеллу можно перевести в число твердости по Бринеллю, пользуясь таблицей, составленной на основании экспериментальных данных. Число твердости по Роквеллу – это отвлеченное число, которое выражается в условных единицах.

3.4 Методика определения износостойкости покрытия

Износостойкость – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

Установка (рисунок 3.6) имеет следующее устройство. Станина 2 установлена на основание 1. На станине 2 расположен электропривод, состоящий из двигателя постоянного тока 3 и редуктора 4. На входном валу редуктора установлена эксцентрик кривошипно – шатунного механизма. Ползун 7 приводится в возвратно-поступательное движение с помощью шатуна 6, на тележке которого закрепляется подвижный образец 11. Неподвижный образец 10 тремя винтами закрепляется в нижней части стакана 9 [5,46].

В таблице 3.2 приведена техническая характеристика машины трения 77МТ-1.

Таблица 3.2 - Техническая характеристика машины трения 77МТ-1

1	2
Длина хода нижнего образца	- 52 мм
Частота вращения вала эксцентрика	- 28...280 мин ⁻¹
Нагрузка на образец	- 50...750 Н
Количество и масса гирь нагружающего устройства	- 1 кг – 3 шт.
	- 2 кг – 2 шт.
	- 5 кг – к. шт.

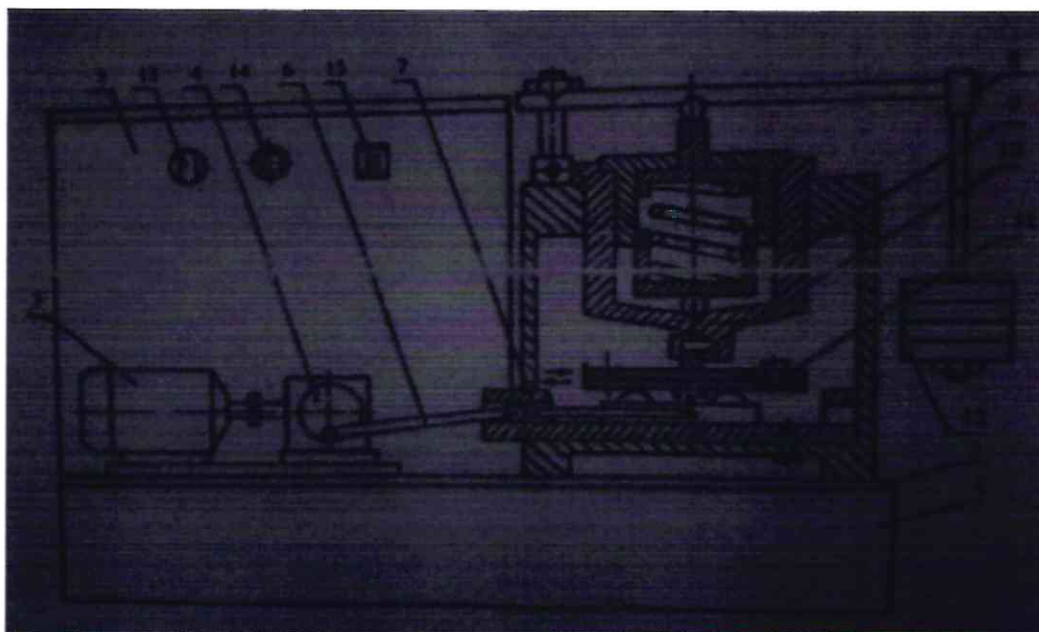


Рисунок 3.6 - Схема машины трения 77MT-1:

1 – основание; 2 – станина; 3 – двигатель; 4 – редуктор; 5 – корпус; 6 – шатун; 7 – ползун; 8 – рычаг; 9 – стакан; 10 – неподвижный образец; 11 – подвижный образец; 12 – гири; 13 – ручка для регулирования частоты вращения двигателя; 14 – лампочка; 15 – кнопка включения.

Нагрузка на испытуемые образцы обеспечивается нагружающим устройством, который состоит из навески с гирями 12, которое через рычаг 8 и пружину давят на стакан 9, прижимая неподвижный образец 10 к подвижному 11 с усилием равным:

$$F = G_{\text{ст}} + 2,5G_{\text{рыч}} + 5G_{\text{г}}, \quad (3.2)$$

где $G_{\text{ст}}$ – вес стакана, Н;

$G_{\text{рыч}}$ – вес рычага, Н;

$G_{\text{г}}$ – общий вес навески с гирями, Н.

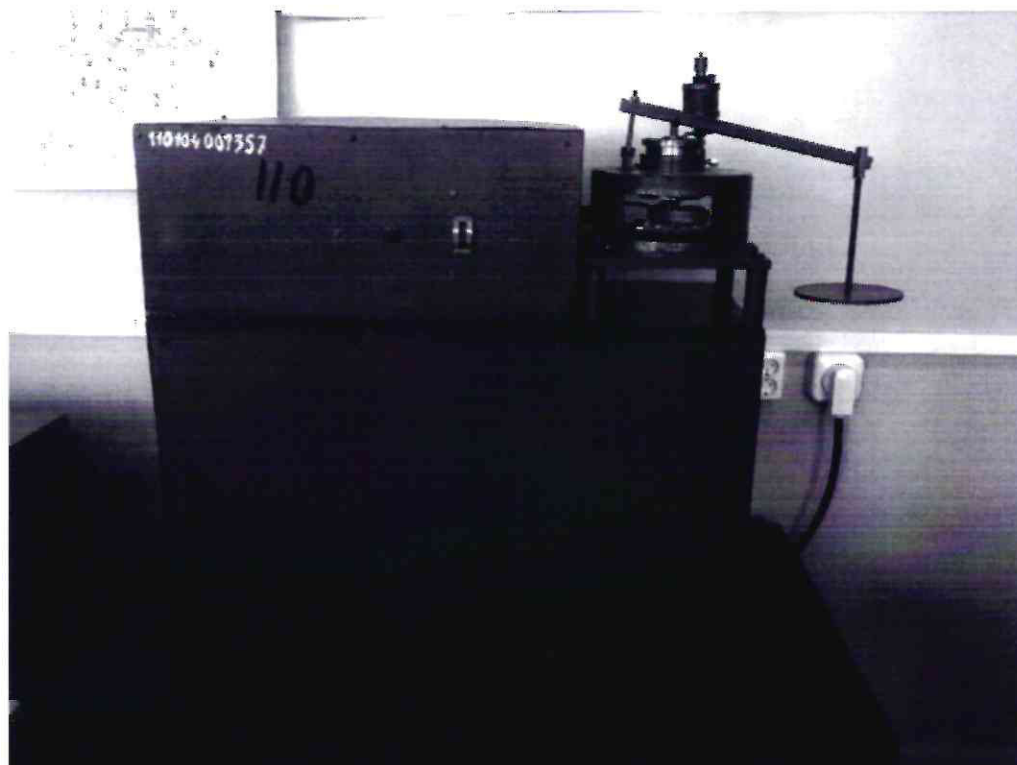


Рисунок 3.7 - Машина трения при испытании образца

Испытание на износостойкость производилось в течение 30 минут. На рисунке 3.7 показано процесс испытания образцов. Время испытания измеряли с точностью до секунды. В процессе испытания трижды измеряли частоту двойных ходов тележки в минуту и при необходимости корректировали частоту двойных ходов путем регулирования частоты вращения двигателя посредством ручки 13.

Интенсивность линейного изнашивания определяется по формуле:

$$j_l = \frac{h_l}{S} = \frac{1000 \cdot (a - a_l)}{4 \cdot r \cdot n}, \text{ мкм/м}, \quad (3.3)$$

где h_l - величина линейного износа, мм;

r - радиус эксцентрика, м;

a , a_l - высота образца до и после испытания, мм;

n - число двойных ходов ползуна за время испытания.

Определение интенсивности изнашивания по массе:

$$j_m = \frac{h_m}{S} = \frac{m - m_t}{S}, \text{ мг/м}, \quad (3.4)$$

где h_m - величина износа по массе, мг;

m - масса образца до испытания, мг;

m_t - масса образца после испытания, мг.

Определение скорости линейного изнашивания и скорость изнашивания по массе:

$$i_L = \frac{h_L}{t} = \frac{1000 \cdot (i - a_t)}{t}, \text{ мкм/ч}, \quad (3.5)$$

$$i_m = \frac{h_m}{t} = \frac{m - m_t}{t}, \text{ мг/ч}, \quad (3.6)$$

где t – время испытания, ч.

3.5 Методика определения толщины гальванического покрытия

Аналитические весы – это лабораторные весы, обладающие высокой точностью и предназначенные для определения массы веществ и материалов в лабораториях научно-исследовательских учреждений и предприятий. Дискретность аналитических весов не должна превышать 0,1 мг.

По принципу действия выделяется два типа аналитических весов:

1. механические (электромеханические)
2. электронные.

В электромеханических и механических весах процесс взвешивания заключается в сравнении взвешиваемого груза с системой встроенных гирь и пружин, а также внешних гирь с помощью индикатора положения равновесия. В электронных весах, принцип действия основан на электромагнитном уравнивании.

новешивании взвешиваемого груза и последующим измерении электрического сигнала и преобразовании его в цифровой вид для индикации [34].

Перед началом работы весы нужно правильно расположить на рабочем месте. Помещение, в котором производится измерения не должно подвергаться различным вибрациям. На прибор не должно попадать прямой солнечный свет. Взвешивание образцов производит при температуре помещения 20 ± 2 °С, при этом колебание температуры не должно быть больше 0,5 °С. Влажность воздуха должно быть в пределах 30-80 %. Для того чтобы весы показали наиболее точный результат, после долгого отключения от электросети, а также при первом включении, прогрели весы не менее 2 часов. Перед взвешиванием образцов чтобы уровнять температурный режим внутри весов с окружающим, нужно за 20-30 минут до начала измерений приоткрыли дверку защитного кожуха.

Заблаговременно до начала измерений произвели несколько взвешиваний для пробы. При этом перемешается воздух внутри весовой камеры и произойдет «раскачка» ячейки для взвешивания. При этом на точность взвешивания влияет постоянство и периодичность взвешивания. Образцы, которые взвешиваются нельзя брать голыми руками. Это связано с влиянием температуры рук и отпечатков пальцев на итоговые результаты взвешивания, для этого применяется хлопчатобумажные перчатки. Перед взвешиванием надо убедиться в том, что показания весов находятся на нулевой отметке. Для исключения ошибки нуля нужно оттарировать весы. Образцы для взвешивания размещают строго в центре чашки весов [29]. Для взвешивания образцов использовали аналитические весы AND HR – 200 рисунок 3.8. Техническая характеристика аналитической весы AND HR – 200 представлен в таблице 3.4

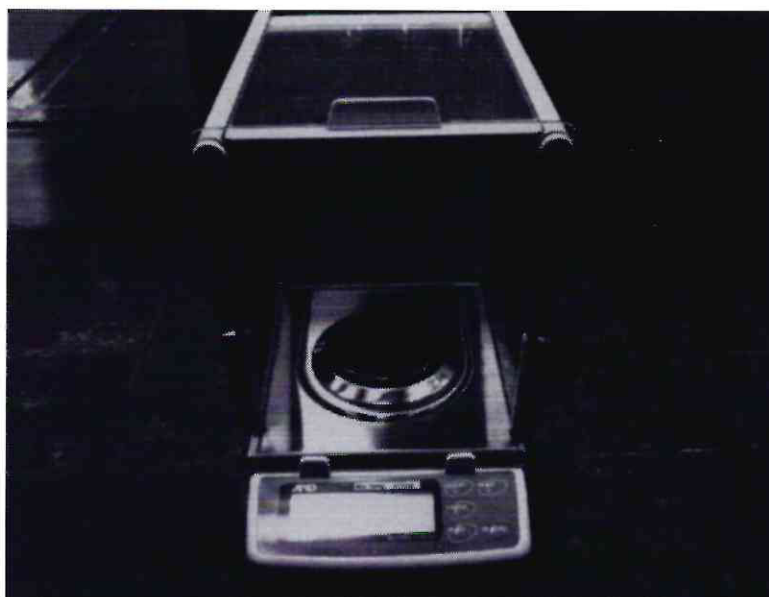


Рисунок 3.8 - Аналитические весы AND HR – 200

Таблица 3.4 Технические характеристика аналитической весы AND HR – 200

Модель	HR-200
Дискретность отсчета, мг	0,1
Наибольший предел взвешивания, г	210
Время установления показаний, не более, с	2,5
Наименьший предел взвешивания, г	0,01
Рабочий диапазон температур	5... 40 °С
Размер стола, мм	Ø85
Габариты весов, мм	180x192x200
Масса весов, кг	5,7
Класс точности по ГОСТ 24104-01	Специальный - I
Номер в Гос реестре средств измерений	44189-10
Тип калибровки	внешняя
Класс гири (в комплект не входит)	<u>E2</u>
Калибровочный вес, г	100/200

Для определения толщины покрытия используется следующая формула:

$$h = \frac{m_2 - m_1}{S \cdot \gamma}, \quad (3.7)$$

где h – толщина покрытия, мм;

m_1 - масса пластины до восстановления, г;

m_2 - масса пластины после восстановления, г;

S - площадь пластины, см²;

γ - плотность металла, г/см³.

Площадь пластины определяется по формуле:

$$S = a \cdot b, \text{ см}^2, \quad (3.8)$$

где a, b размеры пластины, см.

Ширина и длина пластины 7 см.

3.6 Вывод по главе 3

В третьей главе изложены современные методики анализа качества покрытий гальваническим натиранием. Были изучены и рассмотрены программы исследование твердости, износостойкости и толщины покрытия. Показано, что физико-механические свойства покрытий зависят от состава электролита, режима электролитов, плотность контакта взаимодействия поверхности с анодом, скорости вращения детали, температуры электролита, режимов электролиза. Обоснована необходимость исследования свойств покрытий в зависимости от различных параметров электролитического процесса.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследования влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия

В процессе проведения опытов в лабораторных условиях исследуется концентрация $ZnSO_4$ (сульфата цинка), на содержание $FeSO_4$ (сульфату железа) в новом получившемся покрытии, так же проводились опыты концентрация $ZnSO_4$ (сульфата цинка) на толщину покрытия δ образующий при нанесении слоя новой поверхности, исследуется pH электролита в процессе электролиза, в заключительном исследовании проводились исследования выхода по току η при разных концентрациях $ZnSO_4$ (сульфата цинка). Ниже приведен состав электролита, применяемый при выше указанных параметров:

1. $FeSO_4$ (Сульфат железа)	200 г·л ⁻¹
2. $ZnSO_4$ (Сульфат цинка)	20 г·л ⁻¹
3. Температура электролита	55°C
4. pH электролита	1,5-1,7
5. Скорость протекания электролита, v	2,5 м·с ⁻¹
6. Катодная плотность тока, D_k	0,30 А·см ⁻²

Постепенно в каждом эксперименте добавляли сульфат цинка $ZnSO_4 = 20; 40; 40; 80; 40$ г·л⁻¹.

После проведения лабораторных исследований было выявлено следующее:

При добавлении в новый электролит $ZnSO_4$ (сульфат цинк) увеличивается выход по току η , такой процесс наблюдается в связи с тем, что в свойствах $ZnSO_4$ (сульфата цинка) имеется хаотичные ионы моментальной ориентации, которые стремятся к катоду, создавая увеличенный поток, приводящий к увеличению выхода по току η , при условии, что катодная плотность тока, D_k будет равной 0,30 А·см⁻².

Скорость выделения в процессе реакции прямо пропорционально выходу по току. Таким образом благодаря катодной плотности тока $D_k = 0,30 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ она имеет значение $0,52 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$. Сравнивая значения фактических покрытий с расчетными данными, можно сказать, что значение фактической толщины покрытия в большей части случаев немного меньше ($0,005 - 0,007 \text{ мм}$), чем значение рассчитываемой толщины покрытия. Такое событие объясняется механическим снятием неровностей, а также уплотнением покрытия.

В случае поднятии концентрации сульфата цинка в гальванической ванне, при прочих равных условиях, количества железа в покрытии уменьшается, т. к. идет уменьшение перенапряжения ионов железа. Из рисунка 4.1 сделанным на опытных показателях, приведенных в таблице 4.1, наблюдается, как меняется отношение концентрации сульфата цинка к сульфату железа и равны 0,1 насчитывается самое огромное количество железа в покрытии. Такое событие говорит о высоком перенапряжении ионов железа, по причине недостаточной концентрации ионов цинка в электролите. Такое изменение процентного состава сульфата цинка в гальванической ванне происходило с увеличенным содержанием ионов водорода pH.

Таблица 4.1 Результаты экспериментальных исследований влияние отношения концентрации $ZnSO_4$ сульфата цинка к $FeSO_4$ сульфату железа, на pH электролита и толщину покрытия δ .

№ опыта	1	2	3	4	5	6
$\frac{ZnSO_4}{FeSO_4}$	0,1	0,2	0,3	0,6	1	1,2
pH электролита	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Толщина покрытия δ , мм	0,519	0,531	0,593	0,630	0,646	0,651

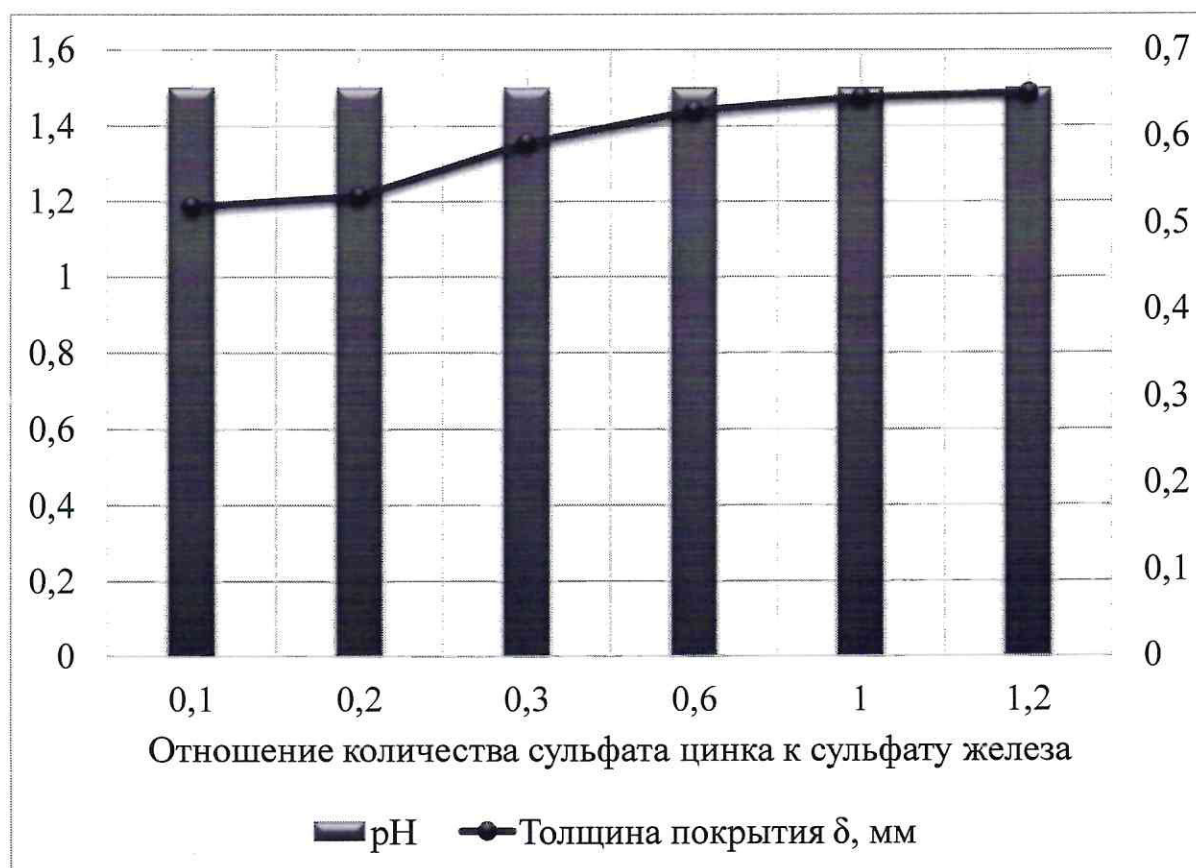


Рисунок 4.1 Результаты экспериментальных исследований влияние отношения концентрации $ZnSO_4$ сульфата цинка к $FeSO_4$ сульфату железа, на pH электролита и толщину покрытия δ .

Таблица 4.2 Результаты экспериментальных исследований влияния отношения концентрации количества $ZnSO_4$ сульфата цинка к $FeSO_4$ сульфату железа на выход по току η , на содержание (Fe) железа в наращенном слое

№ опыта	1	2	3	4	5	6
$\frac{ZnSO_4}{FeSO_4}$	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2
Выход по току η	0,74	0,76	0,85	0,9	0,92	0,92
Содержание Fe в покрытии, %	49,6	27,4	19,55	17,32	11,67	9,84

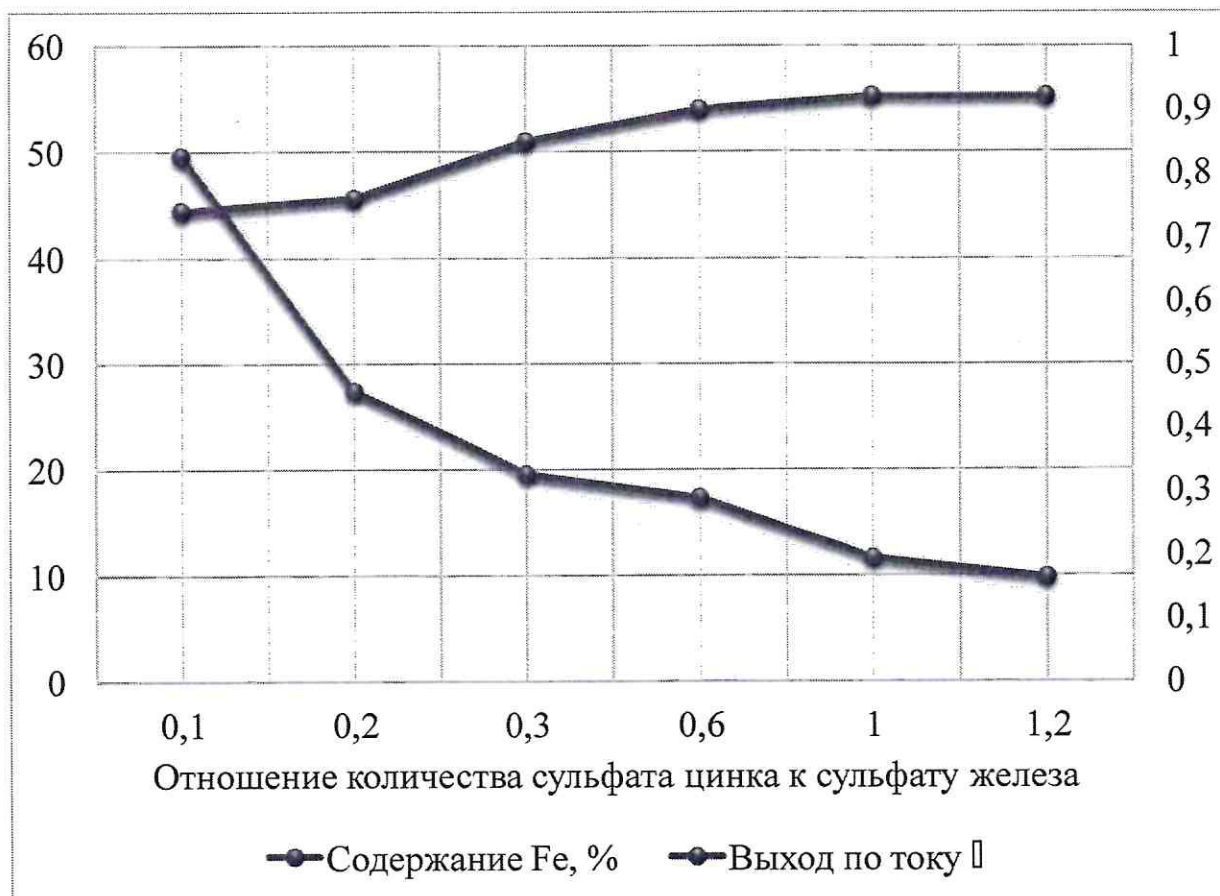


Рисунок 4.2 Результаты экспериментальных исследований влияния отношения концентрации количества $ZnSO_4$ сульфата цинка к $FeSO_4$ сульфату железа на выход по току η , на содержание (Fe) железа в наращенном слое

4.2 Результаты экспериментальных исследований влияния температуры электролита

В процессе гальванического электролитического наращивания на образцы, проведен опыт по выявлению влияния температуры электролита, который варьировался от 20 °С до 90 °С. Были выявлены значения таких параметров: содержание (Fe) железа в покрытии, %, Выход по току η , толщина покрытия δ , мм.

В ходе эксперимента выяснилось следующее: в связи с тем, что при весьма высоких температурах образуются неровные поверхности из-за бурного

выделения водорода, что обуславливается неэффективностью повышение температуры электролита в высоких пределах. При постепенном увеличении температуры электролита наблюдается гладкие, ровные поверхности, наиболее благоприятные условия выявлены в промежутке от 40 С° до 60 С°. Так же при повышении температуры было выявлено, что выход по току η повышается, из-за отношения диффузии (Zn) цинка к катоду, а содержание Fe (железа) в покрытии, % уменьшается. Соответственно толщина покрытия δ , увеличивается в пропорциональном соотношении. Повышение температуры чаще всего уменьшает катодную поляризацию, помогая производить грубую поверхность. При изменении температуры при выходе по току это увеличение скорости диффузии ионов и падение химической поляризации.

При увеличении температуры электролита заметно падает содержание (Fe)железа в наращиваемом слое, показано на рисунке 4.2. Установлено, что в гальванической ванне, при малой концентрации катодной плотности тока, проявляется картина уменьшения содержания цинка при повышении температуры электролита. Содержание цинка в покрытии возрастает с интенсивным размещиванием электролита и с сугубо активным повышением температуры электролита. Соответственно твердость наращиваемого слоя металла на поверхности пластины понижается. Это связано с процессом наводораживания. Ниже приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры.

Таблица 4.3 Результаты исследований при изменении температуры электролита на содержания железа, выхода по току

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура электролита °С	20	30	40	50	60	70	80	90
Содержание Fe в покрытии, %	7,82	7,63	6,87	6,56	6,28	6,11	5,87	5,65

Выход по току η	0,82	0,87	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94
-------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

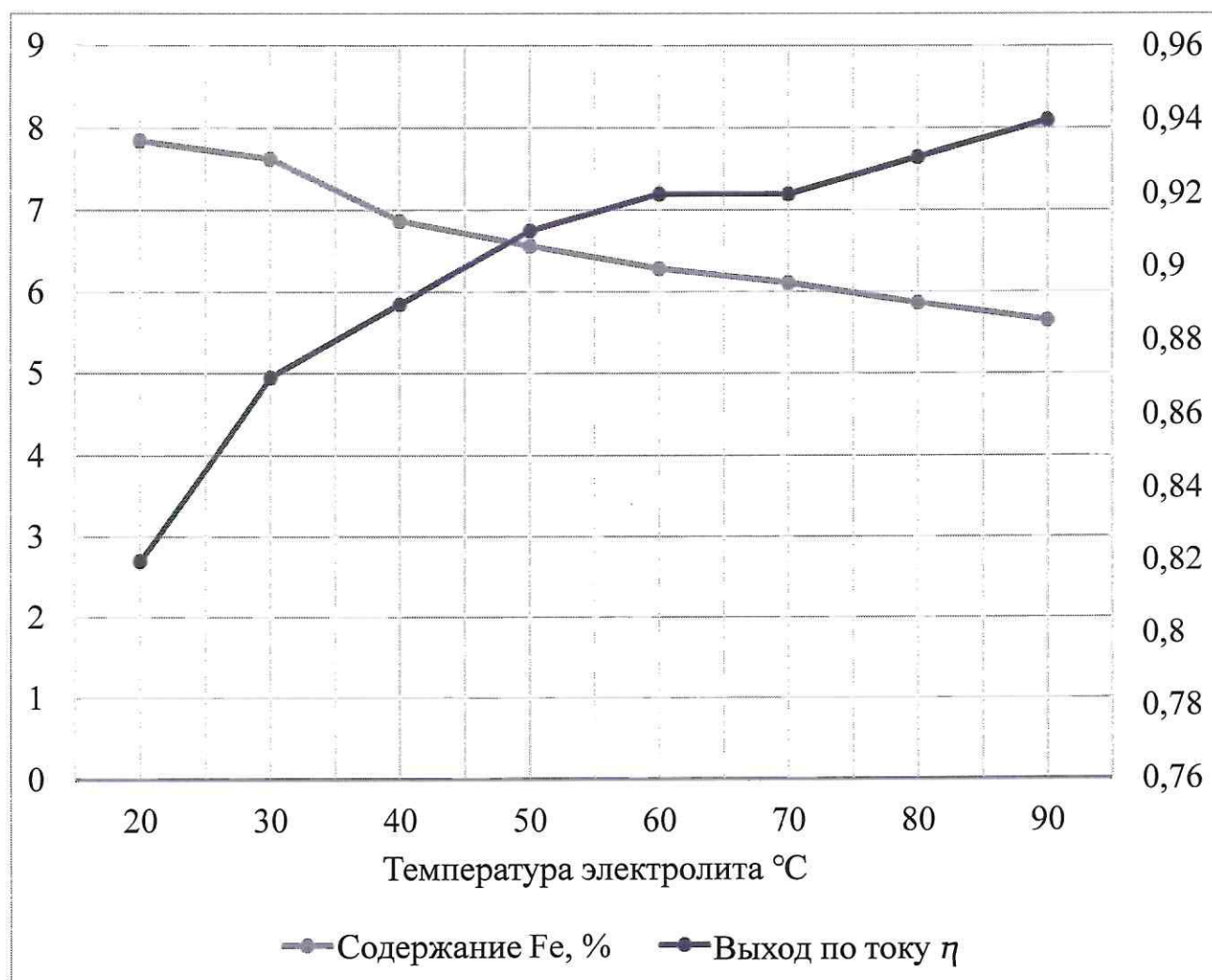


Рисунок 4.3 Результаты экспериментальных исследований при изменении температуры электролита на содержания железа, выхода по току.

Таблица 4.4 Результаты исследований при изменении температуры электролита на толщину покрытия.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура электролита °C	20	30	40	50	60	70	80	90
Толщина покрытия δ , мм	0,586	0,620	0,630	0,648	0,660	0,665	0,670	0,670

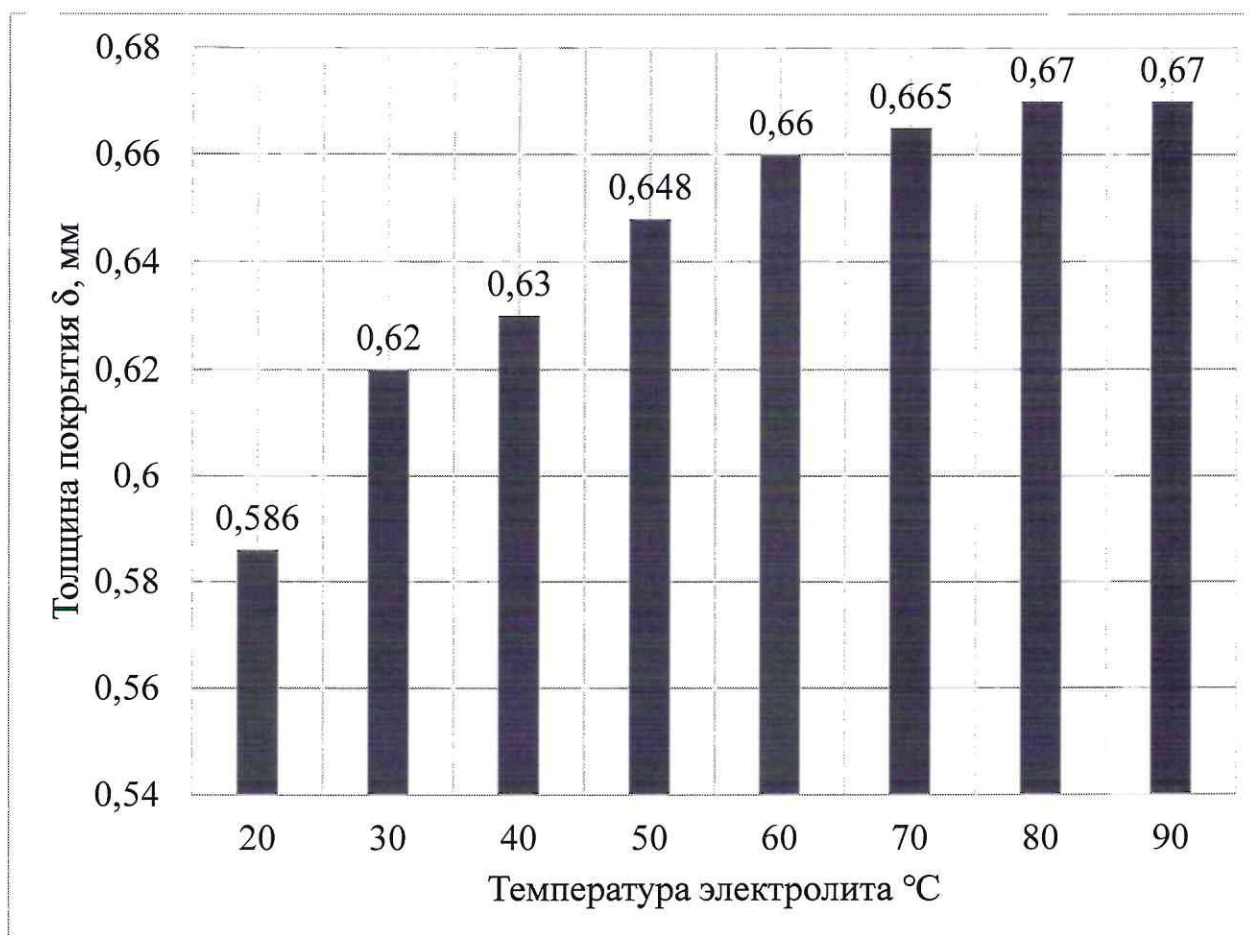


Рисунок 4.4 Результаты экспериментальных исследований при изменении температуры электролита на толщину покрытия.

4.3 Влияние катодной плотности тока в процессе гальванического натираания

Для того что провести исследования влияния катодной плотности тока на толщину покрытия, выхода по току и содержания железа при восстановлении посадочных мест мы выбрали нижеперечисленный режим электролиза и содержание электролита:

Температура электролита	55°C
pH электролита	1,5-1,7
Катодная плотность	0,10-2 А · см ⁻²
Сульфат цинка	200 г · л ⁻¹
Сульфат железа	100 г · л ⁻¹
Анод	растворимый

Эксперименты показали, что при увеличении плотности тока, аналогично увеличивается выход по току η , в случае если $D_k = 1,20 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, то выход по току η , в значении понижается. В связи с этим, если плотности тока $\geq 1 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ не целесообразно, так как на поверхности пластин образуется дендриты, которые приводят к пониженной продуктивности процесса.

Было выявлено, что процесс наращиваемого слоя Fe-Zn на поверхность имеет низкую продолжительность электролиза, при плотностях тока $D_k = 0,05-0,08 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$. Все последующие эксперименты и исследования было решено проводить при плотности тока от $D_k = 0,10 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ и выше. Начиная с такого численного значения обнаружили наиболее благоприятные условия, показатели наращиваемой поверхности сформировались ровные и блестящие. К тому же, были обнаружены наилучшие совпадения результатов практических измеренных показателей с расчетными показателями. Но при $D_k = 1,20 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ начинает формировать неровная и шероховатая поверхность. Таким образом эксперименты проводились при плотности тока равной от $D_k = 0,10 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ и до $D_k = 1,2 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$. В процессе проведения опытов, повышая катодную плотность тока, так же повышается выход по току и увеличивается выделение водорода. Максимальный предел выхода по току был проделан при $D_k = 2,0 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ и составляет 92 %. Не смотря на это, при дальнейшем возрастании D_k быстро снижается до 85 %.

Это объясняется наличием активного дендритообразования. Когда плотность тока более $1,20 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ происходит активное выделение водорода, тем

самым это резко уменьшает выход по току, к тому же наблюдается образование гидроокисей из-за подщелачиванием среды, так же обеднения раствора ионами водорода. Компоненты железа в покрытии, в процессе химического анализа, увеличивается от 1,23% если $D_k = A \cdot \text{см}^{-2}$ до 6,58% если $D_k = 1 A \cdot \text{см}^{-2}$ и 17,34% если $D_k = 2 A \cdot \text{см}^{-2}$.

Электроотрицательные электроны создаются при повышенном состоянии плотности тока. При увеличении катодной плотности тока D_k , увеличивается Толщина покрытия δ , мм и Содержание Fe в покрытии, выход по току η возрастает до величины при $D_k = 1,2 A \cdot \text{см}^{-2}$ далее в медленном порядке показатели начинают падать.

Таблица 4.5 Результаты экспериментальных исследований при катодной плотности тока $D_k = 0,10 - 2 A \cdot \text{см}^{-2}$ влияния на выхода по току η , толщину покрытия δ и содержания (Fe) железа в покрытии.

№ опыта	Катодная плотность тока $D_k, A \cdot \text{см}^{-2}$	Выход по току η	Толщина покрытия δ , мм	Содержание Fe в покрытии, %
1.	0,10	0,84	0,032	1,28
2.	0,20	0,88	0,066	4,22
3.	0,40	0,92	0,094	6,09
4.	0,60	0,92	0,249	6,21
5.	0,80	0,93	0,322	6,33
6.	1,00	0,93	0,399	6,57
7.	1,20	0,93	0,488	7,32
8.	1,40	0,92	0,564	11,78
9.	1,60	0,88	0,620	13,45
10.	1,80	0,86	0,692	15,81
11.	2,00	0,75	0,743	17,32

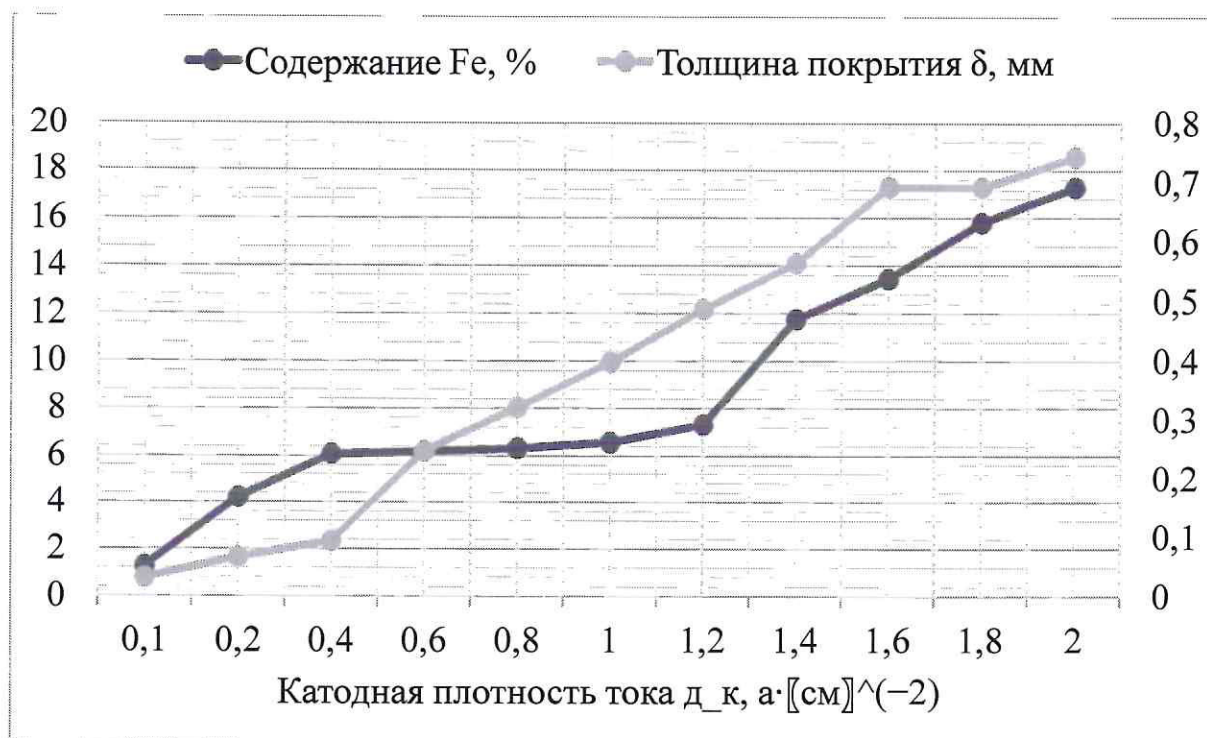


Рисунок 4.5 Результаты при изменении катодной плотности тока на содержания железа в покрытии и толщину покрытия. (продолжительность электролиз 30 мин).

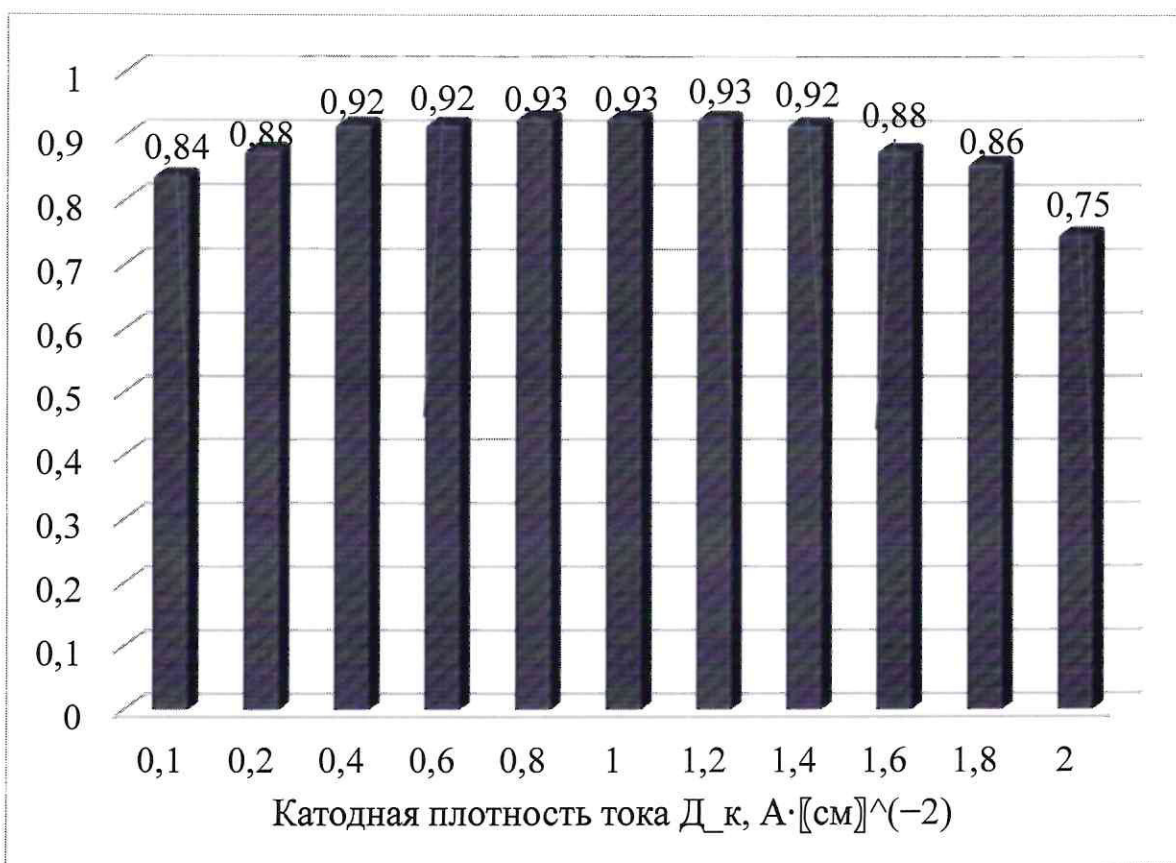


Рисунок 4.6 Результаты при изменении катодной плотности тока на выход по току (продолжительность электролиз 30 мин).

4.4 Построение диаграммы состояний цинк-железного сплава

Общеизвестно, что равновесный потенциал (стандартный) цинка равняется 0,76 В. Не смотря на это, в практических условиях электроосаждения гальванического цинка, колеблется от 0,76 В и заканчивая 0,95 В. Регулируя температуру цинкового электролита с 16 °С по 70 °С можно достичь изменения катодных потенциалов примерно на 85-100 мВ, в целом говоря, в 2-3 раза меньше изменения температуры электролита в отношении потенциала железа. Таким образом, электролитический цинк в меньшей степени наводороживается, к тому же перенапряжение металла всегда определяется катодной поляризацией. Формула точного выделения потенциала цинка будет равняться:

$$E_{Zn} = E_0 + \frac{RT}{n \cdot F} \cdot \lg C + \Delta E \quad (4.1)$$

$$\Delta E = E_{Zn} - E_p \quad (4.2)$$

E_{Zn} - практический потенциал цинка;

E_0 – равновесный потенциал цинка;

ΔE - перенапряжение металла;

E_p - стандартный потенциал цинка в случаи влияния °С.

Соотношения потенциала выделения цинка при изменении плотности тока вычисляется по формуле:

$$E_{Zn} = a + v \ln D_k \quad (4.3)$$

a - практический потенциал цинка 0,76-0,86;

в - коэффициент = 0,01 -0,02;

В таблице 4.6 показаны данные изменения потенциала при изменении концентрации электролита.

Таблица 4.6 Результаты экспериментальных исследований при изменении потенциала и метаморфозы концентрации электролита

№ опыта	Состав электролита и режим электролиза	Добавка г · л ⁻¹		t°С	Потенциал мВ
		FeSO ₄	ZnSO ₄		
1.	FeSO ₄ = 200 г · л ⁻¹	-	-	18	370
2.	Д _к = 0,40 А · см ⁻²	-	20	18	573
3.	Т = 65 – 70 °С	-	40	18	738
4.	n = 50 об · мин ⁻¹	-	80	18	762
5.	v = 2.5 м · с ⁻¹	-	120	18	775
6.		-	200	18	776
7.		-	240	18	776
1.	FeSO ₄ = 200 г · л ⁻¹	-	-	96	318
2.	Д _к = 0,40 А · см ⁻²	-	20	96	595
3.	Т = 65 – 70 °С	-	40	96	648
4.	n = 50 об · мин ⁻¹	-	80	96	736
5.	v = 2.5 м · с ⁻¹	-	120	96	780
6.		-	200	96	782
7.		-	240	96	787

В результате исследований установлено, что Fe-Z покрытия являются твёрдым замещением, отражающий ионы цинка железом. Поскольку Fe-Zn

сплав является фазой твердой, то потенциалы нулевого заряда обратимы и переносятся на потенциалы имеющие электроотрицательные элементы.

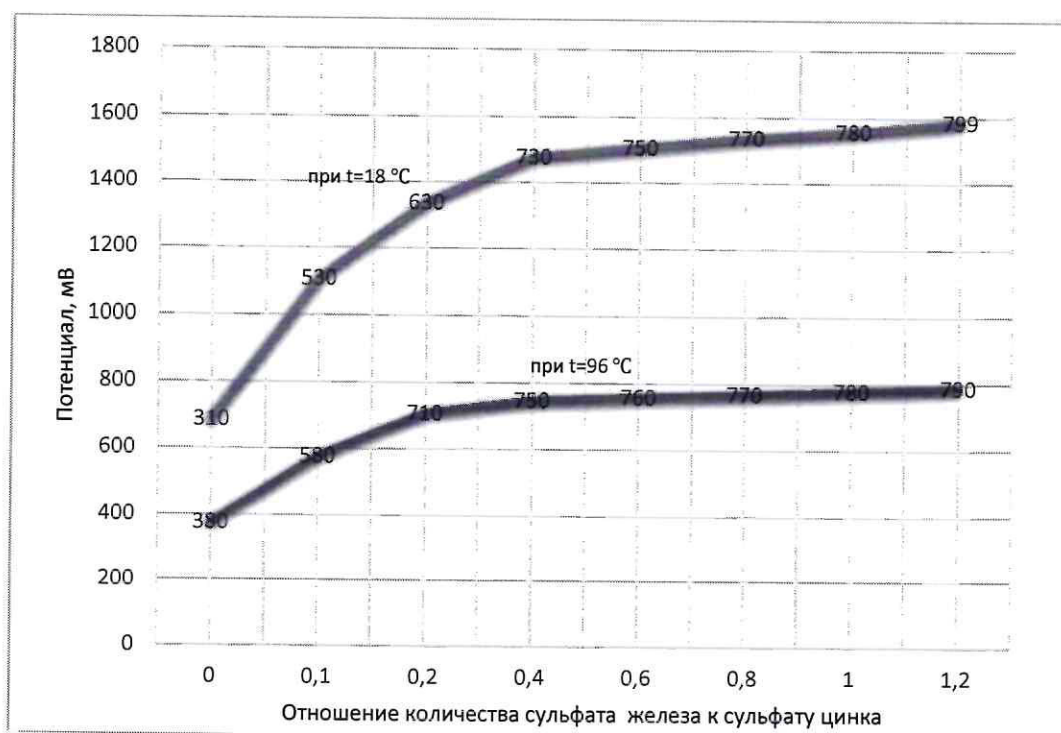


Рисунок 4.7 Результаты экспериментальных исследований зависимости потенциала

В случае повышения катодной плотности тока, незамедлительно увеличивается процентное наполнение составного элемента в новой покрытии, Fe в нашем примере. Такое явление обуславливается, повышением химической поляризации положительных электродов на высоких токах. Повышая содержание катиона Zn незначительно перемещается потенциал имеющие электроотрицательный элемент преобразуя поляризационные кривые Fe и Zn. В процессе снижения температуры электролита, понижается концентрация Zn в наращиваемом слое металла. Это связано и расхождением поляризации ионов металла в случае перемешивания электролита. Циркуляция электролита является оптимальным решением для того, чтобы положительные электроны оптимально переходили в отрицательные, создавая поверхность ровной. Это

объясняется тем, что при циркуляции электролита наблюдается не только деполяризация процессов осаждения металлов, но и возрастают предельные токи разряда обоих металлов.

4.5 Влияние параметров электролитического натирания на твердость покрытий

На основании того, что Fe-Zn сплав применяется при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей деталей сельскохозяйственных машин, необходимо определить его продуктивность и эффективность действия на практике. Для это потребуются исследовать и идентифицировать твердость покрытия в различных консистенциях, всевозможных добавлениях поочередных компонентов, режимах и параметров процесса электролиза. Экспериментальные исследования проводились с изменением состава электролита при всех равных остальных условий, для того, чтобы определить эффективность зависимости твердости наращиваемой поверхности. Получилось, что твердость покрытия, вневанным способом, то есть гальваническим электролитическим натиранием, обоснованно качественно и высокоэффективно, нежели других методов и способов. Так же было выявлено, что рентабельность твердости покрытия Fe-Zn, в первую очередь зависит от таких показателей как, температура электролита, выход металла по току, состав электролита, режима вращения анода или катода, циркуляции электролита, скорости подачи электролита на участок нанесения слоя металла, силы тока и давление (контакт) инструмента на поверхность.

В проводимых исследованиях на кафедре «Эксплуатация и ремонт» по выявлению влияния твердости покрытия с добавлением разнообразных консистенций FeSO_4 к ZnSO_4 и ZnSO_4 к FeSO_4 . Один из начинающих компонентов при переменном добавлении в электролит всегда начинался с $200 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ и было выявлено, что при добавлении Zn в покрытие, заметно уменьшается

твердость получившего слоя, что соответствует действительности в таблице 4.7

Таблица 4.7 реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением консистенции электролита

№ опыта	Состав электролита и режим электролиза	Добавка $ZnSO_4$ г \cdot л $^{-1}$	Содержание Fe в покрытии, %	Твердость кг \cdot мм $^{-2}$
1.	$FeSO_4 = 200$ г \cdot л $^{-1}$	20	49,60	308
2.	$D_k = 0,40$ А \cdot см $^{-2}$	40	27,40	289
3.	$T = 60$ °C	80	19,55	242
4.	pH=1,5	120	17,32	226
5.	$n = 50$ об \cdot мин $^{-1}$	160	12,81	191
6.	$v=2.5$ м \cdot с $^{-1}$	200	11,67	163
7.	анод- железный	240	9,84	156

Уменьшение твердости покрытий (рисунок 4.8) обуславливается в связи с низким остатком содержания Fe в полученном покрытии. К тому же, консистенция соли Zn в электролите на твердость полученной поверхности, прямой зависимости не обнаружилось. Параметры покрытия прямолинейно влияют на твердость поверхности. То, что отношение количества сульфата цинка к сульфату железа $FeSO_4 : ZnSO_4 = 1$ было выявлено, что твердость поверхности падает от $H_\mu = 308$ кг \cdot мм $^{-2}$ до $H_\mu = 188$ кг \cdot мм $^{-2}$ в случае Fe в составе 11,67%.

В таблице 4.7 приводится реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением консистенции электролита, соотношение финального значения неизменно и равно 200 г \cdot л $^{-1}$, при прочих равных условиях. При добавлении в электролит $FeSO_4$ разительно увеличивается твердость в полученном покрытии, что свидетельствует таблица 4.7

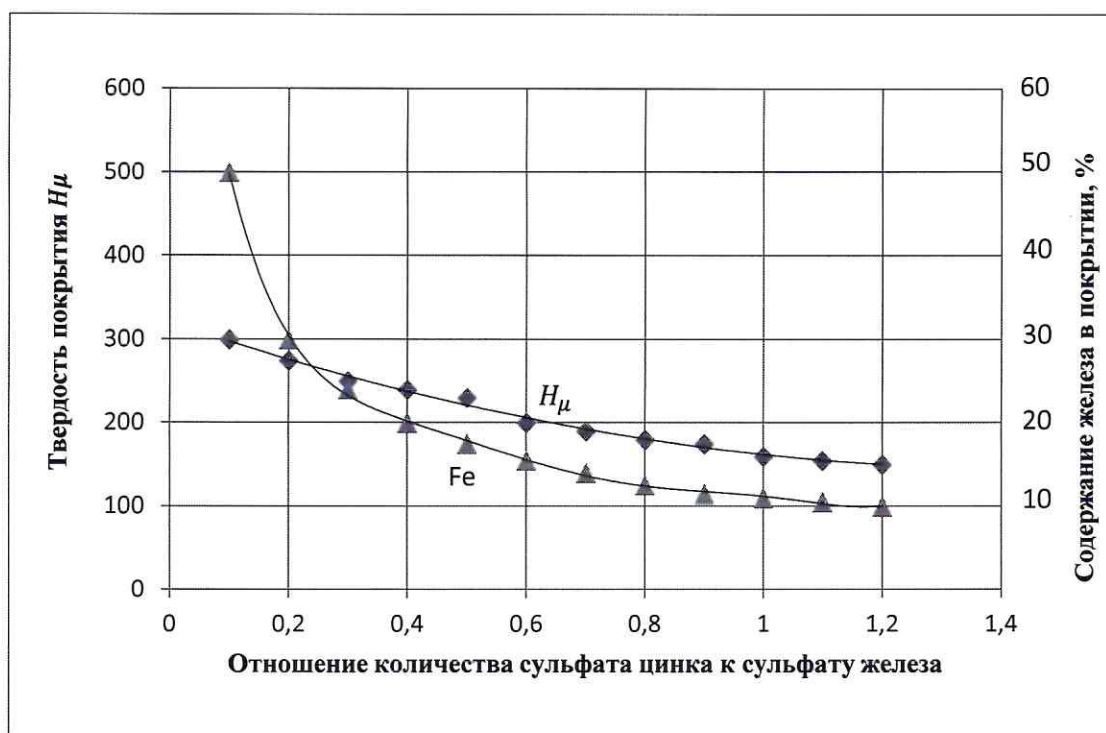


Рисунок 4.8 Результаты зависимости консистенции $ZnSO_4$ к $FeSO_4$ на твердость поверхности, присутствия Fe в покрытии.

Таблица 4.8 Реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением консистенции электролита

№ опыта	Состав электролита и режим электролиза	Добавка $FeSO_4$ г · л ⁻¹	Твердость кг · мм ⁻²	Содержание Fe в покрытии, %
1.	$ZnSO_4 = 200$ г · л ⁻¹	-	68	-
2.	$D_k = 0,40$ А · см ⁻²	20	77	2,65
3.	$T = 60$ °С	40	92	5,58
4.	pH=1,5	80	116	6,27
5.	$n = 50$ об · мин ⁻¹	120	129	7,44
6.	$v=2.5$ м · с ⁻¹	160	153	8,74
7.	анод- цинковый	200	191	11,90
8.		240	210	17,32

При добавлении в электролит $FeSO_4$ ощутимо увеличивается твердость в полученном покрытии рисунок 4.9. Вместе с тем, увеличение твердости в покрытии вызвано, как и с содержанием пропорции Fe, так и физико-механическими свойствами.

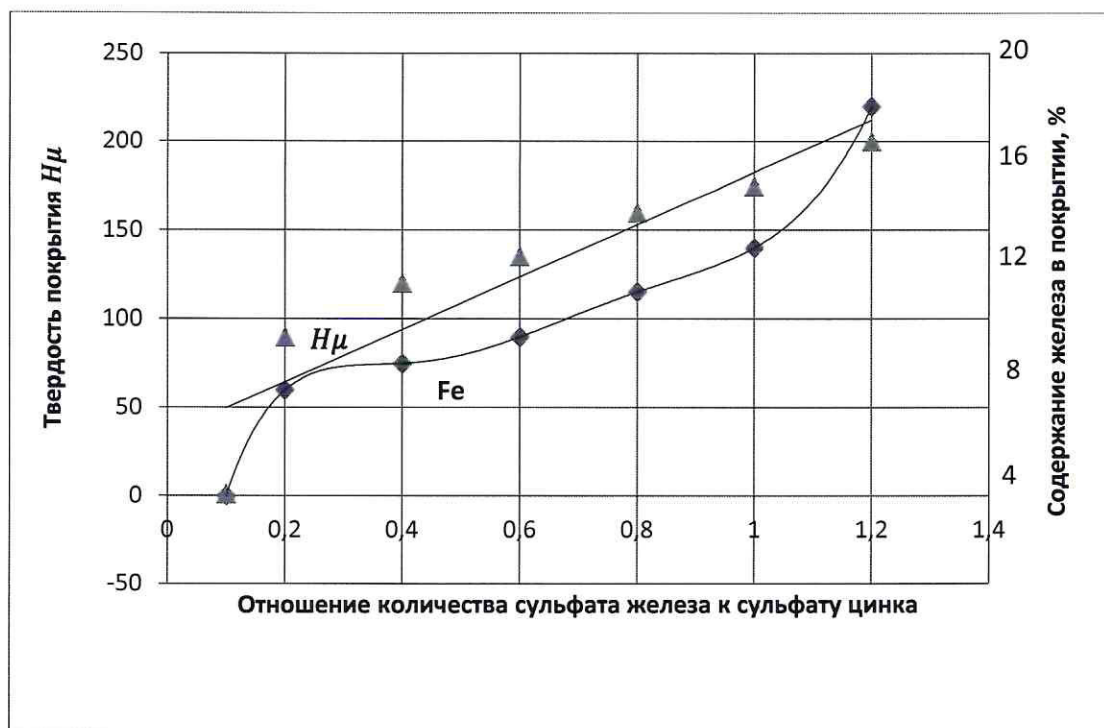


Рисунок 4.9 Результаты зависимости консистенции $FeSO$ к $ZnSO_4$ на твердость поверхности, присутствия Fe в покрытии.

В таблице 4.8 приводятся опытные данные по влиянию катодной плотности тока на твердость цинк-железных покрытий, при прочих равных условиях электролиза.

Таблица 4.9 Реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением зависимости катодной плотности тока D_k , содержание Fe в покрытии.

№ опыта	Катодная плот- ность тока D_k , $A \cdot$ cm^{-2}	Содержание Fe в покрытии, %	Твердость $kg \cdot mm^{-2}$
1.	0,10	1,28	73
2.	0,20	4,22	98
3.	0,30	5,79	105
4.	0,40	6,09	120
5.	0,60	6,21	137
6.	0,80	6,33	144
7.	1,00	6,57	157
8.	1,20	7,32	163
9.	1,40	11,78	178
10.	1,60	13,45	187
11.	2,00	17,32	197

В процессе опыта по выявлению наилучшие и худшие степени твердости нового слоя, при катодная плотность тока D_k равной $0,10 A \cdot cm^{-2}$ твердость составляет $73 kg \cdot mm^{-2}$ Содержание Fe в покрытии составляет 1,28 %, а при катодной плотности тока $D_k=2,00 A \cdot cm^{-2}$, содержание Fe в покрытии составляет 17,32 % , твердость равняется $197 kg \cdot mm^{-2}$.

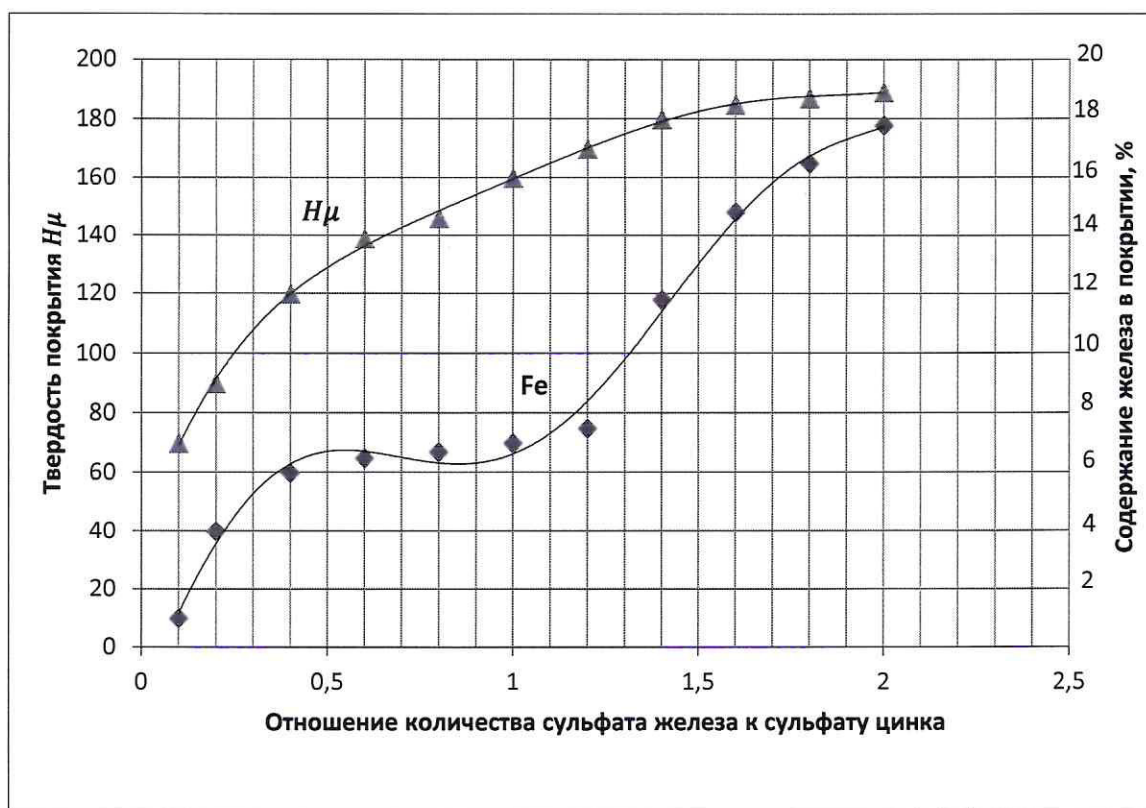


Рисунок 4.10 Реверсированное влияние с изменением зависимости катодной плотности тока D_k на твердость полученной поверхности, содержание Fe в покрытии.

С увеличением и с изменением зависимости катодной плотности тока D_k , замечено, что повышается скорость образования кристаллов, но до ограничения потенциала катода достигнувшего максимума. Что в свою очередь приводит к образованию свободных позиций и росту кристаллов. Если увеличивать катодную плотность и в последующем, то ритм образования центров кристаллизации повышается, что приводит к тому, что новая поверхность становится ровной, гладкой. Реверсированная поверхность новой полученной твёрдости увеличивается за счет катодной плотности тока D_k и определяется параметрами покрытия. Так же на образовавшуюся новую твердость покрытия влияет температура электролита. В таблице 4.10 представлено реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением температура электролита и содержанием Fe в покрытии.

Таблица 4.10 Реверсированное влияние твердости полученной поверхности с изменением температура электролита, содержанием Fe в покрытии.

№ опыта	Температура электролита, °C	Содержание Fe в покрытии, %	Твердость кг · мм ⁻²
1	20	7,63	138
2	40	6,87	123
3	60	6,28	117
4	90	5,65	98

По рисунку 4.11 видно, что с повышением температуры электролита, твердость полученной поверхности падает, так же снижается показатель содержание железа в покрытии.

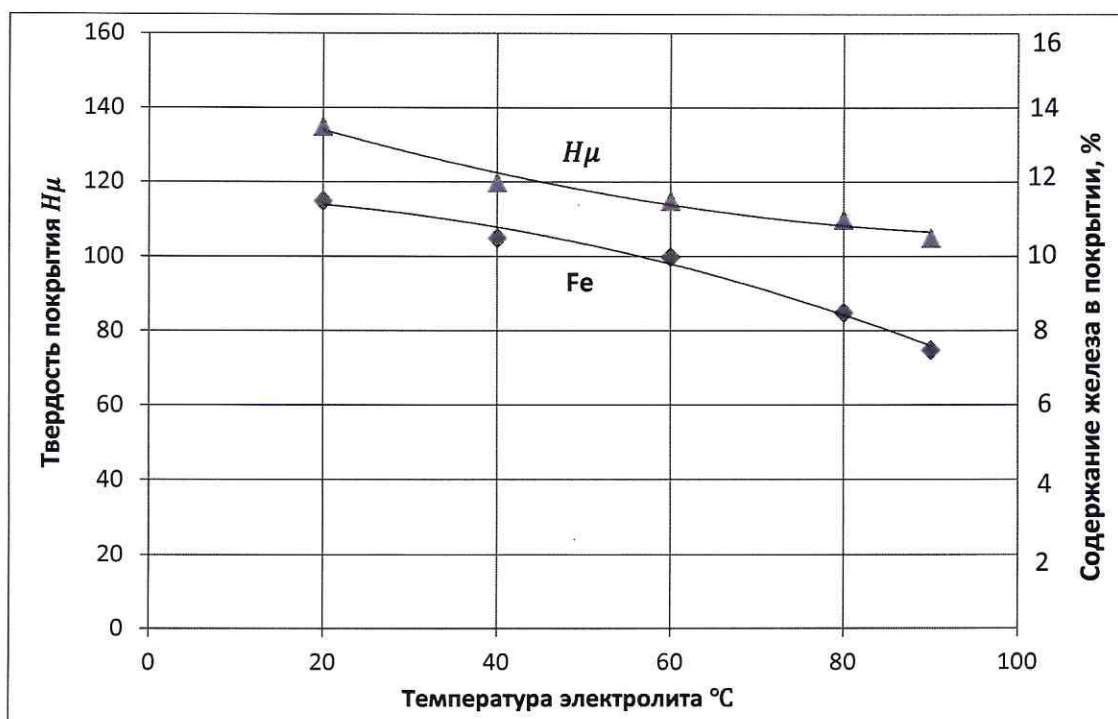


Рисунок 4.11 Реверсированное изменением температура электролита на твердость полученной поверхности и содержания Fe в покрытии.

4.6 Вывод по главе 4

В следствии проведенных экспериментальных исследований необходимо обозначить:

1. По результатам исследования влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия выявлено, что при добавлении в новый электролит $ZnSO_4$ (сульфат цинк) увеличивается выход по току η , pH электролита остается постоянной, Толщина покрытия δ увеличивается, содержание Fe в покрытии в процентом соотношении уменьшается. При условии, что катодная плотность тока, D_k будет равной $0,30 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. В случае поднятии концентрации сульфата цинка в гальванической ванне, при прочих равных условиях, количества железа в покрытии уменьшается.

2. По результатам экспериментальных исследований влияние температуры электролита при повышении температуры было выявлено, что выход по току η повышается, соответственно толщина покрытия δ , увеличивается в пропорциональным соотношении. При изменении температуры при выходе по току это увеличение скорости диффузии ионов и падение химической поляризации. При увеличении температуры электролита заметно падает содержание (Fe)железа в наращиваемом слое. Содержание цинка в покрытии возрастает с интенсивным размещиванием электролита.

3. По влиянию катодной плотности тока в процессе гальванического натирания обнаружено, что при увеличении плотности тока, аналогично увеличивается выход по току η , в случае если $D_k = 1,20 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$, то выход по току η , в значении понижается. Было выявлено, что процесс наращиваемого слоя Fe-Zn на поверхность имеет низкую продолжительность электролиза, при плотностях тока $D_k = 0,05-0,08 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. В процессе проведения опытов, повышая катодную плотность тока, выход по току η возрастает увеличивается выделение водорода, далее в медленном порядке показатели начинают падать. Компоненты железа в покрытии, в процессе химического анализа, увеличивается от 1,23% если $D_k = 0,05 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ до 6,58% если $D_k = 0,08 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ и 17,34% если $D_k = 1,20 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$.

$= 2 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$. При увеличении катодной плотности тока D_k , увеличивается Толщина покрытия δ , мм и Содержание Fe в покрытии.

4. В результате исследований установлено, что Fe-Zn покрытия являются твёрдым замещением, отражающий ионы цинка железом. Поскольку Fe-Zn сплав является фазой твердой, то потенциалы нулевого заряда обратимы и переносятся на потенциалы имеющие электроотрицательные элементы. В случае повышении катодной плотности тока, незамедлительно увеличивается процентное наполнение составного элемента в новой покрытии, Fe- в нашем случае. В процессе снижения температуры электролита, понижается концентрация Zn в наращиваемом слое металла. Циркуляция электролита является оптимальным решением для того, чтобы положительные электроны оптимально переходили в отрицательные, создавая поверхность ровной.

5. По результатам влияние параметров электролитического натирания на твердость покрытий было выявлено, что рентабельность твердости покрытия Fe-Zn, в первую очередь зависит от таких показателей как, температура электролита, выход металла по току, состав электролита, режима вращения анода или катода, циркуляции электролита, скорости подачи электролита на участок нанесения слоя металла, силы тока и давление (контакт) инструмента на поверхность. Выяснено, что при добавлении Zn в покрытие, заметно уменьшается твердость получившего слоя. Отношение количества сульфата цинка к сульфату железа $FeSO_4 : ZnSO_4 = 1$, было выявлено, что твердость поверхности падает от $H_\mu = 308 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ до $H_\mu = 188 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ в случае Fe в составе 11,67%. При добавлении в электролит $FeSO_4$ разительно увеличивается твердость в полученном покрытии. В процессе опыта по выявлению наилучшие и худшие степени твердости нового слоя, при катодная плотность тока D_k равной $0,10 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$ твердость составляет $73 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ Содержание Fe в покрытии составляет 1,28 %, а при катодной плотности тока $D_k = 2,00 \text{ A} \cdot \text{см}^{-2}$, содержание Fe в покрытии составляет 17,32 %, твердость равняется $197 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с проделанными экспериментальными исследованиями по обоснованию параметров технологического процесса восстановления выскоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием сформирован следующий вывод:

1. Проведен теоретический и экспериментальный метод исследования износов деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутренние поверхности. Интенсивность изнашивания деталей зависит от шероховатости их рабочих поверхностей. Износостойкость повышается при легировании нескольких компонентов.

2. Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование режимов, температуры электролита, выход металла по току, состав электролита, режима вращения анода или катода, циркуляции электролита, скорости подачи электролита на участок нанесения слоя металла, силы тока и давление (контакт) инструмента на поверхность электролитическим натиранием покрытий на основе Fe-Zn, как наиболее обоснованный для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей СХМ.

3. Разработан новый способ и высокоэффективная установка для восстановления внутренних цилиндрических деталей сельскохозяйственных машин электролитическим натиранием (патент на изобретение РФ №2715584), которое обеспечивает поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности что способствует повышению производительности технологического процесса, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали.

4. Разработан технологический процесс восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических деталей СХМ гальваническим натиранием на основе Fe-Zn, который позволяет повысить производительность формирования нового покрытия, поддерживать стабильные условия для электролиза, устранять

дендритообразования, повышать надежность и эффективность процесса. Разработана максимально упрощенная и простая технология, повышающая максимальную прочность сцепления. Показано, что выбором соответствующей технологии электролитического восстановления деталей можно снизить затраты на 60-70% от затрат на их промышленное производство. Определены оптимальные параметры и состав электролита:

1. Сульфат цинка: $200 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
2. Сульфат железа: $100 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
3. Аммоний сернокислый: $85 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
4. Борная кислота: $15 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
5. Лимонная кислота: $1,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
6. Катодная плотность тока $D_k = 1,0 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$;
7. Частота вращения анода $n = 40-50 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$;
8. Скорость протока электролита $V = 2,0-2,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$;;
9. Кислотность электролита $\text{pH} = 1,5-1,7$;
10. Температура электролита $t = 55 - 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
11. Анод – малоуглеродистый, растворимый.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев М.В. и др. Технология ремонта машин и оборудования. – М.: Агропромиздат. 2007 г.
2. Адигамов Н. Р., Гималтдинов И. Х. Методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине «Ремонт машин»/под общ. ред. Адигамова Н. Р. – Казань: Издательство КГАУ, 2013, – 77 с.
3. Акулич Н. В. Технология машиностроения. Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2015. – 400 с.
4. Александр О. Основы технологии сборки в машиностроении. – М.: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 104 с.
5. Анализ восстановления внутренних поверхностей автотракторных деталей/Садыков М.Р., Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х. //Воспроизводство научных кадров в сельском и лесном хозяйстве, Нижний Новгород, 2020 год.
6. Анализ способов восстановления внутренних поверхностей деталей сельскохозяйственной техники путем гальванического наращивания / Садыков М.Р. Адигамов Н.Р. // Издательство Казанского ГАУ, 2017 – 190с.
7. Анализ способов восстановления внутренних поверхностей деталей сельскохозяйственной техники путем гальванического наращивания / Садыков М.Р. Адигамов Н.Р. // Издательство Казанского ГАУ, 2017 – 190с.
8. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel. – Екатеринбург, 2015. – 103 с.
9. Батищев А.Н. Пособие гальваника-ремонтника/ М.: Колос, 1980. — 240 с.
10. Безъязычный В.Ф., Крылов В.Н., Чарковский Ю.К., Шилков Е.В. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в машиностроении. Учебное пособие. – М.: , 2016. – 432 с.

11. Бурумкулов Ф. Х. Определение полного ресурса блоков цилиндров автотракторных двигателей / Ф. Х. Бурумкулов, В. П. Лялякин, В. И. Иванов / Техника в сел. хоз-ве. - 2005. - №4. - С. 30-39.
12. Высокотехнологический процесс восстановления корпусных деталей сельскохозяйственной техники гальваническим цинко-железным покрытием. / Садыков М.Р., Адигамова М.М., Адигамов Н.Р. //В сборнике: Агроинженерная наука XXI века. 2018. С. 328-331.
13. Гаврилин А.М. , Сотников В.И., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А.. Станочное оборудование машиностроительных производств. Часть 2. – М.: ООО "ТНТ", 2012. – 408 с.
14. Горохов В.А., Беляков Н.В., Махаринский Ю.Е.. Основы технологии машиностроения. Лабораторный практикум. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, Новое знание, 2016. – 448 с.
15. ГОСТ 9450-76 Металлы. Метод испытания на твердость вдавливанием алмазной пирамиды.
16. Ефанов Л. А. Разрушительные процессы и технологические способы повышения ресурса деталей машин, эксплуатируемых в условиях севера / Л. А. Ефанов. - Иркутск, Изд-во Р1ГУ, 1988.- 165 с.
17. Жилкин В.А. Расчет На Прочность При Растяжении И Сжатии В Программных Продуктах Mathcad, Scad: Методические Указания. – М.: , 2009. – 104 с.
18. Жуков В.А. Детали машин и основы конструирования. Основы расчета и проектирования. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2016. – 416 с.
19. Завадский Ю. В. Методика статистической обработки экспериментальных данных / Ю. В. Завадский. - М: МАДИ, 1973. - 98 с.
20. Зубарев Ю.М.. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении. Учебник. – СПб.: Лань, 2015. – 320 с.
21. Иванов А.А. Проектирование систем автоматизированного машиностроения. Учебник. – М.: Форум, Инфра-М, 2014. – 320 с.

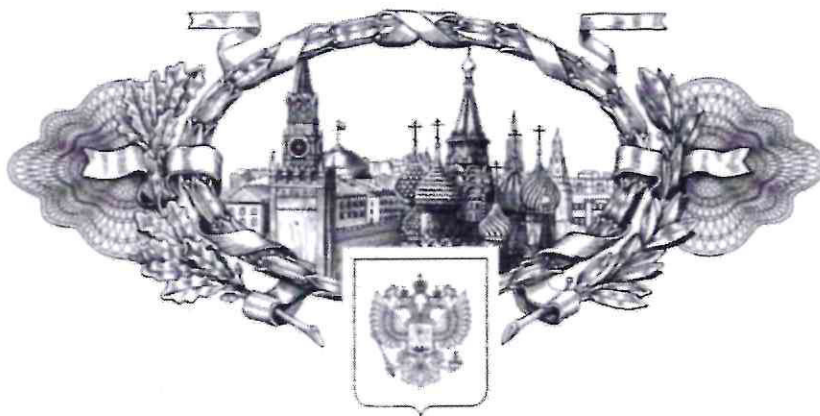
22. Иванов А.С., Давыденко П.А., Шамов Н.П. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Учебное пособие. – М.: ДРОФА, 2012. – 288 с.
23. Ильянков А.И., Марсов Н.Ю., Гутюм Л.В. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении. Практикум. Учебное пособие. – М.: Academia, 2014. – 160 с.
24. Информационное обеспечение интегрированных производственных комплексов. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
25. Исследование состава растворов электролита при восстановлении нитрированием. / Садыков М.Р., Гималтдинов И.Х., Адигамов Н.Р. // Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 182-185.
26. Ковшов А.Н.. Технология машиностроения. – СПб.: Лань, 2008. – 320 с.
27. Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов. – М.: КноРус, 2011. – 496 с.
28. Коровин Н. В. Новые покрытия и электролиты в гальванотехнике / Н. В. Коровин. - М.: Металлургиздат, 1962. - 241 с.
29. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. М.: Транспорт, 2008. 272 с.
30. Лабаров Д. Б. Технологический процесс восстановления деталей композиционными покрытиями / Д. Б. Лабаров // Монография. — Улан-Удэ, 1999.-79 с.
31. Лобанов А. С. Практические советы гальванику / А. С. Лобанов. Л.: Машиностроение, 2013. - 248 с.
32. Лопоян Ю. Н. Восстановление коренных подшипников двигателя / Ю, Н. Лопоян, М. В. Сушкевич // Техника в сел. хоз-ве.- 1963. Хо 5.-С. 65-67.
33. Мелков М. П. Ремонт гнезд коренных подшипников автотракторных двигателей. Способ проточного осталивания / М. П. Мелков, А. М. Пашенных // Техника в сел. хоз-ве. -1966. - С. 63-66.

34. Мелков М. П. Твердое осталивание автотракторных деталей /М. П. Мелков. - М.: Автотрансиздат, 1971. - 224 с.
35. Месарович М. Общая теория систем: математические основы/ М. Месарович, Я. Такахара. - М.: Мир, 1978. - 312 с.
36. Методика экспериментальных исследований гальванических цинко-железных покрытий/ Садыков М.Р., Адигамова М.Н., Адигамов Н.Р. //В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса. 2018. С. 185-188.
37. Михаил Ш. Подготовка кадров для АПК: инновационные аспекты управления. – М.: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 184 с.
38. Плеханов И. Ф. Гальванический способ восстановления отверстий / И. Ф. Плеханов, С. В. Скифский // Техника в сел. хоз-ве. - 1982. X« 5. С. 51-52.
39. Повышение износостойкости в процессе восстановления элементов корпусных деталей сельскохозяйственной техники гальваническим цинко-железным покрытием. / Садыков М.Р., Адигамов Н.Р., Абжаев М.М. //В сборнике: Студенческая наука - аграрному производству Материалы. 2018. С. 132-134.
40. Повышение производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием/Адигамов Н.Р., Валиев А.Р., Гималтдинов И.Х., Шайхутдинов Р.Р., Садыков М.Р. //Техника и оборудование для села. 2020. № 4 (274). С. 34-38.
41. Погосбемян Ю.М.. Обеспечение качества конструкционных материалов и заготовок в машиностроении. Физико-химические и технологические основы. – М.: Ленанд, 2015. – 248 с.
42. Пути повышения скорости осаждения металлов в гальванических процессах при восстановлении и упрочнении деталей/Садыков М.Р., Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х., Мингалеев Н.З. // В сборнике: Аграрная

- наука XXI века Актуальные исследования и перспективы. 2019. С. 260-264.
43. Ремонтно-технологическое оборудование и средства технического оснащения / ГОСНИТИ; [Электронный ресурс – www.gosniti.ru].
44. Роман О. Анализ инновационных рисков в машиностроении. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 144 с.
45. Схиртладзе А. Г. Технология восстановления отверстий корпусных деталей / А. Г. Схиртладзе // Технология металлов.- 2001.- N2 12.- С. 30
46. Теория и практика электроосаждения металлов и сплавов // Тез. докл. к зональной конф. - Пенза, 1989. - С. 87
47. Теория систем. Математические методы и моделирование / под ред. А. П. Колмогорова, С. П. Новикова. - М.: Мир, 1989. - 382 с.
48. Технология сельскохозяйственного машиностроения. – М.: ООО "ТНТ", 2012. – 468 с.
49. Устройство для электролитического нанесения покрытий методом нитрования на внутренние цилиндрические поверхности/Садыков М.Р., Валиев А.Р., Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х. //Патент на изобретение RU 2715584 C1, 02.03.2020. Заявка № 2019127086 от 27.08.2019.
50. Черноиванов В. И. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин / В. И. Черноиванов, В. Н. Андреев.- М.: Колос, 1983.- 287 с.
51. Черноиванов В.И., Голубев И.Г.. Учебное пособие по восстановлению деталей машин/Черноиванов В.И.-М.:2010-375с.
52. Шилов Г. Е. Интеграл, мера и производная / Г. Е. Шилов, Б. Л., Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Учебник. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. – 448 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2715584

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ НАТИРАНИЯ НА ВНУТРЕННИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Казанский государственный аграрный университет"
(ФГБОУ ВО Казанский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Садыков Марат Рашитович (RU), Валиев Айрат
Расимович (RU), Адигамов Наиль Рашатович (RU),
Гималтдинов Ильдус Хафизович (RU)*

Заявка № 2019127086

Приоритет изобретения 27 августа 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 02 марта 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 августа 2039 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Иванев



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК

C25D 5/06 (2020.01)

(21) (22) Заявка: 2019127086, 27.08.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.08.2019Дата регистрации:
02.03.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.08.2019

(45) Опубликовано: 02.03.2020 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65, ФГБОУ
ВО "КГАУ", отдел научных исследований и
инноваций

(72) Автор(ы):

Садыков Марат Рашитович (RU),

Валиев Айрат Расимович (RU),

Адигамов Наиль Рашатович (RU),

Гималтдинов Ильдус Хафизович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Казанский государственный
аграрный университет" (ФГБОУ ВО
Казанский ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2198965 C2, 20.02.2003. SU
1520149 A1, 07.11.1989. SU 1502286 A1,
23.08.1989.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ НАТИРАНИЯ НА ВНУТРЕННИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

(57) Формула изобретения

Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности, содержащее корпус, резьбовой вал, упорный подшипник, фиксирующую гайку, регулирующий ползун, плотно прилегающие аноды с тампонами, отличающееся тем, что оно содержит ножницы, выполненные в виде ведущего и ведомого полотен, шарнирно закрепленных в его центральной части и сходящихся в близкорасположенных параллельных плоскостях с установленным в шарнирном механизме датчиком давления, причем внешние концы ведущих полотен и внешние концы ведомых полотен закреплены в полозьях корпуса и выполнены с возможностью свободного хода в вертикальном направлении, причем внутренние концы ведомых полотен закреплены на корпусе упорного подшипника, а внутренние концы ведущих полотен шарнирно закреплены на регулирующем ползуне.

Федеральная служба по интеллектуальной
собственности
Федеральное государственное бюджетное
учреждение



"Федеральный институт
промышленной собственности"
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993
Телефон (499) 240-60-15. Факс (495) 531-63-18

ФГБОУ ВО "КГАУ", отдел научных
исследований и инноваций

ул. Карла Маркса, 65

г. Казань

420015

На №

от

Наш №

пат. № 2715584 (заявка № 2019127086/02)

14.03.2021 N 15

Направляю Вам патент No 2715584 на изобретение.

Запись о регистрации патента внесена в Государственный реестр изобретений
Российской Федерации 02.03.20.

Заместитель начальника
отдела 17

Я.И. Трофимова



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы СадыковМР

Подразделение

Тип работы Не указано

Название работы НКР_35.06.04_СадыковМР_2020

Название файла НКР_35.06.04_СадыковМР_2020.pdf

Процент заимствования 29.20 %

Процент самоцитирования 0.00 %

Процент цитирования 7.61 %

Процент оригинальности 63.19 %

Дата проверки 15:18:32 01 июля 2020г.

Модули поиска Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Модуль поиска "КГАУ"; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общепотребительных выражений; Кольцо вузов

Работу проверил Вафин Ильшат Хафизович

ФИО проверяющего

Дата подписи

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

На правах рукописи



САДЫКОВ МАРАТ РАШИТОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ЦИНКО-ЖЕЛЕЗНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

на соискание квалификации «Исследователь.

Преподаватель–исследователь».

по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и
энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Направленность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Казань – 2020

Актуальность темы. В ситуации рыночной экономики и конкуренции важной задачей для промышленных предприятий всех направлений считается ремонт и восстановление техники и отдельных ее частей. Более длительный процесс эксплуатации любой техники, и механизмов СХМ приводит к замене или восстановлению деталей, что последнее зачастую более экономичнее. Как показывают всевозможные изучения до 80% изношенных цилиндрических деталей машин и устройств целесообразно восстанавливать, используя современные технологии и методы. В этом случае необходимо стремиться к увеличению качества покрытий, износостойкости, повышению физико-механических свойств покрытий при одновременном снижении расходов материала.

С каждым днём в сельском хозяйстве, а именно, в предприятиях ремонта и восстановлении изношенных деталей, механизмов и узлов, набирает большую популярность и обороты. В связи с этим разрабатываются новые технологии, повышается надежность, производительность, продуктивность технологического процесса, экологическая эффективность, достигается высокий эффект износостойкости, не ниже новых, а тем самым ресурс.

Все рабочие поверхности высокоточных деталей сельскохозяйственной техники, которые имеют внутреннюю поверхность, со временем подвергаются износу, это связано с значительными динамическим и температурным нагрузкам, химическими воздействиями и т.д. К таким деталям можно отнести, гильзы цилиндра двигателей, коренные опоры ДВС, корпус задней крышки КПП, картер коробки, корпус КПП, крышка двигателя, картер (кожух) маховика, картер распределительных шестерен, стакан подшипника и т. д.

Таким образом актуальным направлением диссертации является разработка и внедрение новых и ресурсосберегающих технологий, выбора качественного и дешевого и более простого оборудования, инновационных и новых устройств, дешевого материала для восстановления внутренних цилин-

дрических отверстий представляют большой теоретический и практический интерес.

Цель работы. Повышение производительности и эффективности технологического процесса высокоточных деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутренние цилиндрические поверхности комбинированным электролитическим натиранием.

Сформированы следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования износов деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутренние поверхности.
2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования нанесение слоя металла электролитическим натиранием, изучить структуру и физико-механические свойства в процессе нанесения компонентов Fe-Zn.
3. Разработать способ восстановления электролитическим натиранием внутренних цилиндрических деталей СХМ и устройство для его осуществления.
4. Разработать технологический процесс восстановления и упрочнения на основе компонентов Fe-Zn деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности и определить его параметры.

Объект исследования – высокотехнологический процесс восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей деталей гальваническим натиранием на основе Fe-Zn.

Предмет исследования – рабочие внутренние цилиндрические поверхности высокоточных деталей сельскохозяйственной техники.

Научную новизну исследования составляют:

1. Новый способ формирования покрытия на внутренние цилиндрические рабочие поверхности высокоточных деталей СХМ на основе компонентов Fe-Zn.

2. Высокопрогрессивная технология формирования компонованного покрытия электролитическим натиранием.

3. Разработка методики теоретических исследований износостойкости гальванопокрытий, аналитические зависимости качественных показателей и кинематическое моделирование параметров электролиза композиционных гальванических покрытий.

4. Новое устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности.

Новизна технических решений подтверждается патентом Российской Федерации на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитических зависимостей динамики изнашивания, покрытых слоем восстанавливающего и упрочняющего материала, новых закономерностей влияния условий осаждения электролитических сплавов Fe-Zn на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства восстановленной поверхности деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности электролитическим натиранием.

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты доведены до алгоритмов технологии, позволяющих использовать их в качестве перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхности гальваническим натиранием.

Методология и методы исследования. В экспериментальных и теоретических исследованиях используются методы расчета, основанные на положениях теории надежности, математической статистики, теории вероятности и закона Фарадея. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики планирования эксперимента, стандартных и специальных методик металлофизических исследований. Обработка результатов осуществлялась методами многофакторного и статистического анализа.

Апробация работы осуществлялась на научно-практических конференциях Казанского ГАУ и других в 2017 – 2020 годах. Основные положения научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Научно-практическая конференция «Аграрная наука XXI века»; 18 января 2018 года.

- 76-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»; 11-12 апреля 2018 года.

- Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса». 15-16 мая 2018 года.

«Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 7 декабря 2018 года.

- научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ 2018» Липецк, 12-13 декабря 2018 года.

- 77-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»; 9-10 апреля 2019 года.

- III международная научно-практическая конференция: «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», посвященная памяти д.т.н., профессора Волкова Игоря Евгеньевича, Казань, 22 мая 2019 года.

«Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 12 декабря 2019 года.

Российская национальная научно-практическая интернет-конференция для обучающихся и молодых ученых «Рост и воспроизводство научных кадров в сельском и лесном хозяйстве», Нижний Новгород, 18–19 декабря 2019 года.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в том числе, в изданиях, рецензируемых ВАК Российской Федерации 1 статья,

6 статей находятся в печати в издании, получен 1 патент на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

Структура и объем работы. Структура и объем научно-квалификационной работы. НКР состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на - страницах машинописного текста, содержит - рисунков и - таблиц. НКР содержит библиографию из - наименований. Выполнение работы осуществлялось на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин», ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Институт механизации и технического сервиса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены вопросы актуальности темы НКР, представлена её новизна с научной точки зрения и область практического применения.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» Для действующих производителей сельскохозяйственной техники российский рынок в основном привлекателен своей эффективностью - наличие тракторов и комбайнов составляет от 45 до 58% технологического спроса.

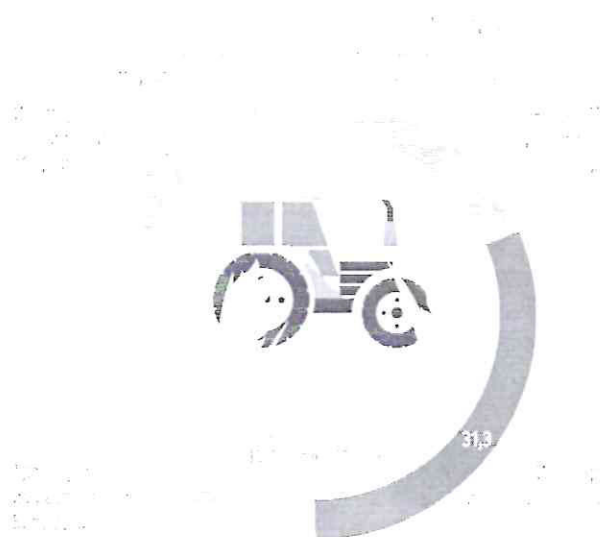


Рисунок 1.1 Рынок тракторов РФ январь-июнь 2019

Дефекты поверхностей деталей делятся на группы по несоответствию: размеров (до 75%), формы (до 18%), шероховатости (до 4,0%), физико-механических свойств (до 2%), нарушению сплошности (до 1%). Из этого следует, что для восстановления деталей основным методом является наращивание изношенного слоя. К деталям сельскохозяйственной техники, имеющим внутреннюю поверхность показано в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Детали СХМ имеющие внутреннюю поверхность

Название	Применима	Цена	Иллюстрация
Корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015	BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, МАЗ	Средняя цена на рынке РФ 4700 рублей на 14.04.2020 год.	
Картер коробки AZ2220010102 SINOTRUK HOWO	SINOTRUK HOWO. Марки КПП: HW18709	Средняя цена на рынке РФ 6900 рублей на 14.04.2020 год.	
Корпус КПП 18686-С	BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, Камаз, МАЗ	Средняя цена на рынке РФ 12 000 рублей на 14.04.2020 год.	
Крышка двигателя передняя Камминз (Cummins) 4ISBe	Камаз, Нефаз, Паз, Higer, Кавз,	Средняя цена на рынке РФ 4500 рублей на 14.04.2020 год.	

Главным показателем, отражающий износ в деталях является трение. Под трением понимается сложное взаимодействие сопряженных поверхностей, при котором затрачивается энергия на деформирование микрообъемов материала в тонком поверхностном слое и преодоление сил молекулярного

сцепления между соприкасающимися выступами неровностей. На рисунке 1.2 изображен корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015, которая имеет несколько внутренних поверхностей и основным фактором, влияющим на износ, является трение детали в процессе эксплуатации. Деталь совместима с марками грузовых автомобилей: BAW, CAMC, DONG FENG, FOTON, JAC, SHAANXI, MAZ. Средняя цена на рынке РФ 4700 рублей на 14.04.2020 года.

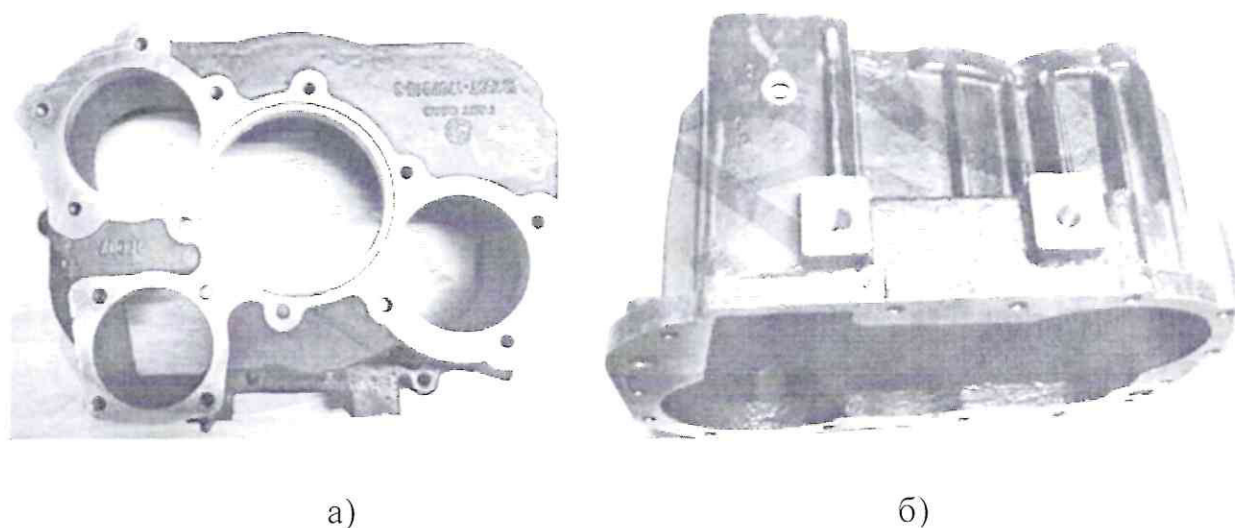


Рисунок 1.2 Корпус задней крышки КПП RTD RTD-11609-1707015; а) вид сверху; б) вид сбоку

На износостойкость детали влияет способ окончательной обработки рабочих поверхностей. Например, при шлифовании деталей из закаленной стали происходит нагрев поверхности, вызывающий структурные изменения. При этом в 2-3 раза снижается износостойкость по сравнению с такими же деталями, обработанными тонкой обточкой. Оптимальная шероховатость деталей соответствует шероховатости, получаемой после приработки.

На сегодняшний день существует достаточно много способов восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей сельскохозяйственной техники: постановка уплотняющих колец, нанесение металлополимера, восстановление деталей методом вклейки, заделка трещин и швов, нанесение стеклоткани, заделка сквозных раковин, полимерными материа-

лами, нанесение армирующих штифтов, наварка латунью, нанесение эпоксидных смол, клеев, плазменная наплавка, металлизация, полимерными материалами.

К недостаткам вышеперечисленных способов восстановления относятся высокая стоимость и трудоемкость их реализации, а также низкая степень универсальности при обработке деталей различных геометрических параметров. Так же данные методы являются далеко несовершенными и не совсем потребные при восстановлении внутренних поверхностей. К концептуально новым и особо перспективным технологическим процессам в процессе восстановления внутренних поверхностей деталей СХМ, относится гальваническое наращивание. Данный метод восстановления в последние годы все шире и шире охватывают применения в промышленности, в лабораторных мастерских, благодаря высокой производительности, эффективности, целесообразности процесса, автоматизированным процессам, экологической продуктивности, достижению высокому эффекту износостойкости, упрочнению. Так как для наращивания слоя металла на поверхность требуется от 0,01 мм до 2 мм слоя, то целесообразный, выгодный с экономической стороны и рентабельный с технической стороны в процессе восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей современных сельскохозяйственных машин является гальванический способ. Необходимо обратить внимание, то что ценное значение при ремонте и восстановлении машин обладает мгновенное и экономически выгодное восстановление методом гальванического наращивания внутренних поверхностей крупногабаритных по объёму корпусных деталей сельскохозяйственной техники, сугубо надежных и весьма дорогостоящих.

Восстановление гальваническим наращиванием крупногабаритных и сложной конфигурацией деталей (коренные опоры ДВС, валы тракторов, крышки КПП и ДВС, картер ДВС трактора , картер КПП, картер заднего моста и т.д.), которые связаны с многими технологическими трудностями (ванны больших размером, трудность подвешных устройств, сложная

изоляция поверхностей, которые не подлежат восстановлению и т.д. По этой причине такие детали восстанавливаются вневанными методом. Вне ванны гальванический метод делится на: струйный, проточный и натиранием. В ремонтной практике актуальным, практичным и наиболее выгодным с экономической стороны является метод натирания.

В процессе восстановления деталей сельскохозяйственной техники предлагается новое устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности.

Предлагается новое изобретение (патент RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7), которое направлено на устранение недостатков и проблем в известных, описанных выше устройствах для нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности методом электролитического натирания. Технической проблемой является создание устройства для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности с высокой производительностью формирования покрытия. Техническим результатом является: повышение производительности формирования покрытия за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали. Также достигается поддержание стабильных условий для электролиза, устранение дендритообразования, повышение надежности и эффективности работы устройства, максимально упрощенная и простая технология устройства, повышение максимальной прочности сцепления.

Предлагаемое устройство поясняется на рисунке 1.3:

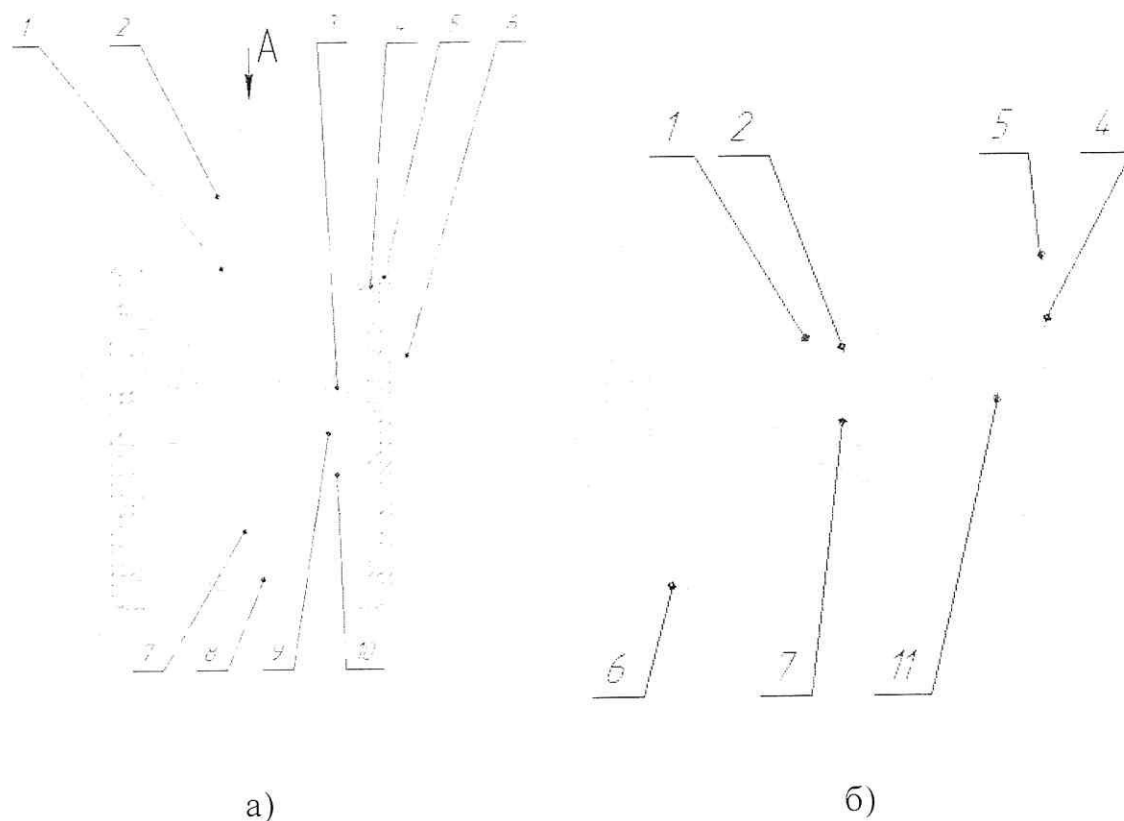


Рисунок 1.3 Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности; а) изображен общий вид устройства; б) вид сверху сечения А-А

1 – регулирующий ползун, 2 – фиксирующая гайка, 3 – ведомое полотно, 4 – корпус, 5 – анод, 6 – тампон, изготовленный из химически стойкого материала, 7 – резьбовой вал, 8 – упорный подшипник, 9 – датчик давления, 10 – ведущее полотно, 11 – механизм «ножницы».

Таким образом, предлагаемое изобретение обеспечивает поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности что способствует повышению производительности технологического процесса, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали применением механизма типа «ножницы» и датчиков давления.

Во второй главе «Теоретические предпосылки повышения качества и износостойкости при восстановлении электронатирианием»

Один из основных и решающих моментов при восстановлении внутренних поверхностей деталей СХМ является определение давления анода $P_{\text{давления}}$ на восстанавливаемую поверхность, так как именно от этого фактора зависит прочность сцепления покрытия с деталью, микротвёрдость, изнашивания войлочного тампона, слой и время наращивания металла на восстанавливаемую деталь. Поэтому была проделана работа по моделированию кинематических параметров электролиза композиционных гальванических покрытий. Лабораторные исследования проводились на специальных образцах стали 30ХГСА ТУ 14-1-950-74. Основные остаточные напряжения определялись на установке УКООНТ. Установка предназначена для выявления параметров деформации, которая имеет тензометрический усилитель 8АНЧ-7М и автоматически производящий потенциометр КСП-4.

Примем за пример цилиндр, который имеет высоту H и радиус основания R , который в свою очередь вращается вокруг своей оси BB_1 , сдвинутый относительно оси цилиндра, рисунок 1.4. Примем расчетные значения, $OB = \varepsilon_1$, $O_1B_1 = \varepsilon_2$ и $\angle B_1O_1C = \alpha$. В таком случае вектор, направленный по оси вращения цилиндра, определяется параметрами ошибок ε_1 , ε_2 , α выражением:

$$\overrightarrow{BB_1} = \overrightarrow{-e_1}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cos \alpha) + \overrightarrow{e_2} \varepsilon_2 \sin \alpha + \overrightarrow{e_3} H \quad (2.6)$$

В данном случае векторы $-e_1$, $-e_2$, $-e_3$ ориентированы вдоль осей OX , OY , OZ .

где σ_s - предел прочности наносимого материала, кг/см²;
 μ_s - коэффициент контактного трения;
 a - длина инструмента.

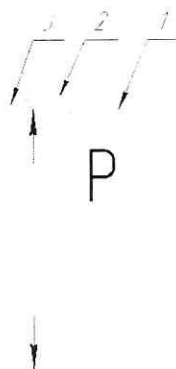


Рисунок 1.5 – Схема момента контакта рабочего инструмента (анода) с деталью:

1 – восстанавливаемая деталь; 2 – войлочный тампон; 3 – анод из малоуглеродистой стали

Одним из важных качественных показателей восстановленных поверхностей является износостойкость. В связи с этим была разработана методика теоретических исследований износостойкости гальванопокрытий на основании, которого получены аналитические зависимости качественных показателей. Полином $Z=P(x,y)$ в трехмерном пространстве задает поверхность, которая в явном виде показывает зависимость исследуемого параметра износостойкость натираемой поверхности от изменения температуры электролита. Исследование поверхностей проводится с помощью функции нескольких переменных методом дифференциальных исчислений.

Основная задача состоит в том, чтобы для технологического параметра (износостойкость натираемой поверхности) в зависимости от силы тока, найти такую температуру электролита, при которой этот параметр достигал бы максимума своего значения. Графическое решение этой задачи приведено на рисунке 1.6. При фиксированном значении одного из параметров $\varphi_i = x_i$ проводится плоскость.

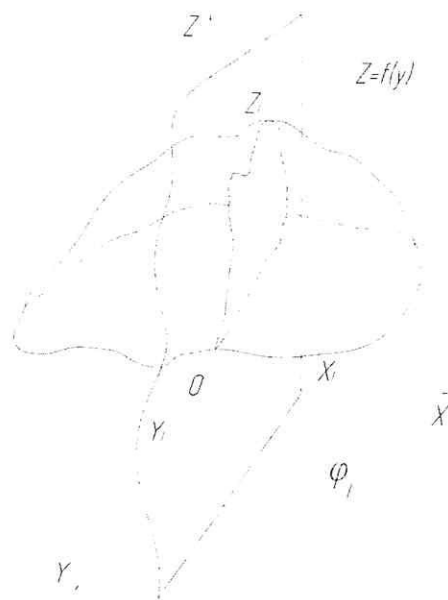


Рисунок 1.6 Зависимость износостойкости от температуры и силы тока: Z – исследуемый показатель износостойкости; X – коэффициент, характеризующий силу тока; Y – коэффициент, учитывающий температуру электролита

Тогда в результате пересечения поверхностей $Z=P(x;y)$ и секущей плоскости образуется кривая вида $Z=f(y)$. Используя методы дифференциального исчисления, определяется максимальное (\max) значение функции $Z=f(y)$ в области изменения параметра y (температуры электролита). Пусть y_i есть \max этой функции. Следовательно, в точке с координатами $x_i; y_i$ кривая $Z=f(y)$, лежащая на поверхности $Z=P(x;y)$ достигает своего \max , т.е. физически это означает, что заданной силе тока $\varphi_i = x_i$ соответствует температура электролита $K = y_i$ (рисунок 1.6). Изменив x_i в заданных пределах, можно определить \max других показателей. Тогда каждому значению $x_i; y_i$ на поверхности $Z=P(x;y)$ будет соответствовать своя точка максимального Z_i .

Последовательно проводя рассечение по указанной методике на поверхности $Z=P(x;y)$, можно получить систему точек $\{Z_i\}$, соединив которые получим кривую на поверхности $Z=P(x;y)$ от силы тока φ при \max исследуемо-

го технологического фактора. Ортогонально спроектировав эту кривую на плоскость, можно получить графическую зависимость температуры электролита от силы тока φ .

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований».

Программа предусматривает исследование твердости, износостойкости и толщины покрытия. При проведении исследований для измерения размеров использовали индикаторный нутромер, для измерения твердости - твердомер ТК 2М, для измерения износостойкости использовали машину трения 77 МТ-1, для определения толщины покрытия использованы аналитические весы AND HR – 200.

Программой исследований предусмотрено:

- провести исследования износов внутренних поверхностей цилиндрических поверхностей деталей СХМ;
- провести экспериментальные исследования способов нанесения гальванических Fe-Zn покрытий методом натирания и определение их физико-механических свойств;
- теоретическое обоснование толщины наращивания;
- провести исследование влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия;
- провести исследования влияния температуры электролита на толщину покрытия, выхода по току и содержания железа;
- провести исследования влияния катодной плотности тока в процессе гальванического натирания;
- провести исследования влияния параметров гальванического процесса на твердость покрытий.

В лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ была собрана установка для нанесения покрытия на гильзы цилиндров

методом электролитического натирания, представленная на рисунок 1.7. Нами были проведены экспериментальные исследования для получения покрытий в Fe-Zn-P электролите, для восстановления внутренних поверхностей деталей СХМ гальваническими электролитическим натиранием.

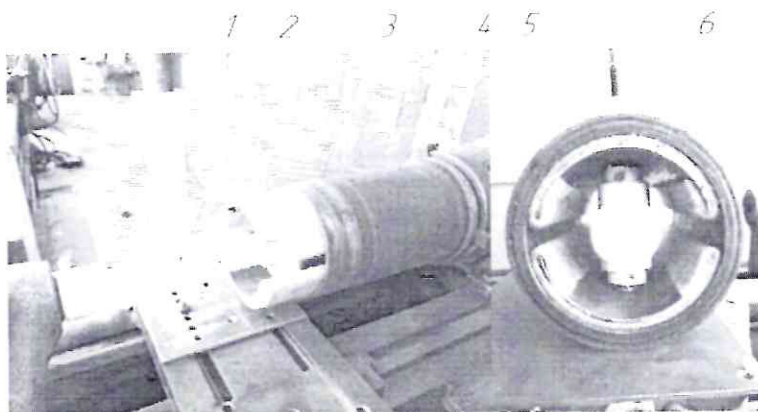


Рисунок 1.7 Устройство для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей:

1 – штуцер, 2 – труба-питатель, 3 – восстанавливаемая деталь, 4 – трехкулачковый патрон станка, 5 – подпружиненный анод, 6 – войлочный тампон

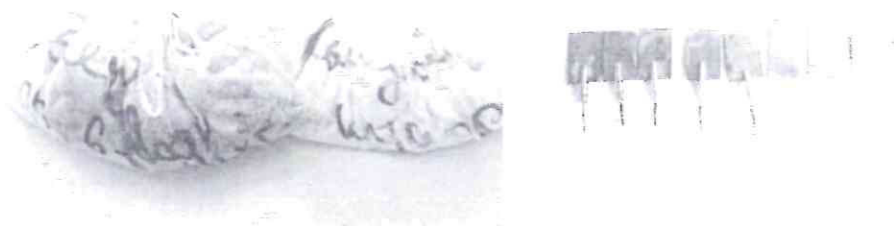


Рисунок 1.8 Процесс проведения экспериментов

Перед процессом восстановления для наилучшей сцепляемости осадка деталь прокипятили в 10%-ном растворе каустической соды. Продолжительность кипения 15-20 мин.

Анодное травление производили в электролите, катод состоит из сульфата цинка, сульфата железа, сплав фосфора, также в не больших количествах добавляется серная кислота. У электролита удельный вес должен быть

1,23. Пластины крепятся на устройство и являются анодом, катодом служит восстанавливаемая деталь. Для каждого эксперимента изготавливаем новый электролит. Продолжительность обработки составляет 0,5-3,0 мин, при этом плотность тока должно быть до 0,30 А/см². Плотность тока возрастает с повышением у стали углерода.

Исследование показали, что гальваническим натиранием обеспечивается поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности, что способствует повышению производительности технологического процесса в 9,87 раза, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований».

В следствии проведенных экспериментальных исследований необходимо обозначить:

1. По результатам исследования влияния зависимости количества сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия выявлено, что при добавлении в новый электролит $ZnSO_4$ (сульфат цинк) увеличивается выход по току η , рН электролита остается постоянной, Толщина покрытия δ увеличивается, содержание Fe в покрытии в процентом соотношении уменьшается. При условии, что катодная плотность тока, D_k будет равной 0,30 А·см⁻². В случае поднятии концентрации сульфата цинка в гальванической ванне, при прочих равных условиях, количества железа в покрытии уменьшается.

2. По результатам экспериментальных исследований влияние температуры электролита при повышении температуры было выявлено, что выход по току η повышается, соответственно толщина покрытия δ , увеличивается в пропорциональным соотношении. При изменении температуры при выходе по току это увеличение скорости диффузии ионов и падение химической по-

ляризации. При увеличении температуры электролита заметно падает содержание (Fe)железа в наращиваемом слое. Содержание цинка в покрытии возрастает с интенсивным размешиванием электролита.

3. По влиянию катодной плотности тока в процессе гальванического натирания обнаружено, что при увеличении плотности тока, аналогично увеличивается выход по току η , в случае если $D_k = 1,20 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$, то выход по току η , в значении понижается. Было выявлено, что процесс наращиваемого слоя Fe-Zn на поверхность имеет низкую продолжительность электролиза, при плотностях тока $D_k = 0,05-0,08 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. В процессе проведения опытов, повышая катодную плотность тока, выход по току η возрастает увеличивает-ся выделение водорода, далее в медленном порядке показатели начинают падать. Компоненты железа в покрытии, в процессе химического анализа, увеличивается от 1,23% если $D_k = \text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$ до 6,58% если $D_k = 1 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ и 17,34% если $D_k = 2 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. При увеличении катодной плотности тока D_k , увеличивается Толщина покрытия δ , мм и Содержание Fe в покрытии.

4. В результате исследований установлено, что Fe-Z покрытия являются твёрдым замещением, отражающий ионы цинка железом. Поскольку Fe-Zn сплав является фазой твердой, то потенциалы нулевого заряда обратимы и переносятся на потенциалы имеющие электроотрицательные элементы. В случаи повышении катодной плотности тока, незамедлительно увеличивается процентное наполнение составного элемента в новой покрытии, Fe- в нашем случае. В процессе снижения температуры электролита, понижается концентрация Zn в наращиваемом слое металла. Циркуляция электролита является оптимальным решением для того, чтобы положительные электроны оптимально переходили в отрицательные, создавая поверхность ровной.

5. По результатам влияние параметров электролитического натирания на твердость покрытий было выявлено, что рентабельность твердости покрытия Fe-Zn, в первую очередь зависит от таких показателей как, температура электролита, выход металла по току, состав электролита, режима вращения анода или катода, циркуляции электролита, скорости подачи электролита на

участок нанесения слоя металла, силы тока и давление (контакт) инструмента на поверхность. Выяснено, что при добавлении Zn в покрытие, заметно уменьшается твердость получившего слоя. Отношение количества сульфата цинка к сульфату железа $FeSO_4: ZnSO_4 = 1$, было выявлено, что твердость поверхности падает от $H_\mu = 308 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ до $H_\mu = 188 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ в случае Fe в составе 11,67%. При добавлении в электролит $FeSO_4$ разительно увеличивается твердость в полученном покрытии. В процессе опыта по выявлению наилучшие и худшие степени твердости нового слоя, при катодная плотность тока D_k равной $0,10 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ твердость составляет $73 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$. Содержание Fe в покрытии составляет 1,28 %, а при катодной плотности тока $D_k = 2,00 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, содержание Fe в покрытии составляет 17,32 %, твердость равняется $197 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен теоретический и экспериментальный метод исследования износов деталей сельскохозяйственных машин имеющие внутренние поверхности. Интенсивность изнашивания деталей зависит от шероховатости их рабочих поверхностей. Износостойкость повышается при легировании нескольких компонентов.

2. Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование режимов, температуры электролита, выход металла по току, состав электролита, режима вращения анода или катода, циркуляции электролита, скорости подачи электролита на участок нанесения слоя металла, силы тока и давление (контакт) инструмента на поверхность электролитическим натиранием покрытий на основе Fe-Zn, как наиболее обоснованный для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей СХМ.

3. Разработан новый способ и высокоэффективная установка для восстановления внутренних цилиндрических деталей сельскохозяйственных машин электролитическим натиранием (патент на изобретение РФ

№2715584), которое обеспечивает поддержание стабильных, одинаковых условий электролиза на всех участках восстанавливаемой поверхности что способствует повышению производительности технологического процесса, получению равномерных, качественных покрытий, повышению надежности и эффективности работы устройства за счет постоянного автоматического контроля и регулирования давления анода с тампонами на поверхность обрабатываемой детали.

4. Разработан технологический процесс восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических деталей СХМ гальваническим натиранием на основе Fe-Zn, который позволяет повысить производительность формирования нового покрытия, поддерживать стабильные условия для электролиза, устранять дендритообразования, повышать надежность и эффективность процесса. Разработана максимально упрощенная и простая технология, повышающая максимальную прочность сцепления. Показано, что выбором соответствующей технологии электролитического восстановления деталей можно снизить затраты на 60-70% от затрат на их промышленное производство. Определены оптимальные параметры и состав электролита:

1. Сульфат цинка: $200 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
2. Сульфат железа: $100 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
3. Аммоний сернокислый: $85 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
4. Борная кислота: $15 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
5. Лимонная кислота: $1,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$;
6. Катодная плотность тока $D_k = 1,0 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$;
7. Частота вращения анода $n = 40-50 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$;
8. Скорость протока электролита $V = 2,0-2,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$;;
9. Кислотность электролита $pH = 1,5-1,7$;
10. Температура электролита $t = 55 - 65 \text{ }^\circ\text{C}$;
11. Анод – малоуглеродистый, растворимый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыков М.Р. Анализ способов восстановления внутренних поверхностей деталей сельскохозяйственной техники путем гальванического наращивания /Адигамов Н.Р. // Материал научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017 – 184с.
- 2 Садыков М.Р.,. Прибор для контроля диаметров отверстий /. Адигамов Н.Р. // Материал научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017 – 189 с.
3. Садыков М.Р. Повышение износостойкости в процессе восстановления элементов корпусных деталей сельскохозяйственной техники гальваническим цинко-железным покрытием. / Адигамов Н.Р., Абжаев М.М. //В сборнике: Студенческая наука - аграрному производству Материалы 76-ой студенческой (региональной) научной конференции. 2018. С. 132-134.
4. Садыков М.Р. Исследование состава растворов электролита при восстановлении нитрованием. / Гималтдинов И.Х., Адигамов Н.Р. //В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 182-185.
5. Садыков М.Р. Методика экспериментальных исследований гальванических цинко-железных покрытий/ Адигамова М.Н., Адигамов Н.Р. //В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 185-188.
6. Садыков М.Р. Высокотехнологический процесс восстановления корпусных деталей сельскохозяйственной техники гальваническим цинко-железным покрытием. / Адигамова М.М., Адигамов Н.Р. //В сборнике: Агроинженерная

наука XXI века Научные труды региональной научно-практической конференции . 2018. С. 328-331.

7. Садыков М.Р. Пути повышения скорости осаждения металлов в гальванических процессах при восстановлении и упрочнении деталей/ Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х., Мингалеев Н.З. // В сборнике: Аграрная наука XXI века Актуальные исследования и перспективы Труды III международной научно-практической конференции. 2019. С. 260-264.

8. Садыков М.Р. Анализ восстановления внутренних поверхностей автотракторных деталей/ Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х. //Российская национальная научно-практическая интернет-конференция для обучающихся и молодых ученых / воспроизводство научных кадров в сельском и лесном хозяйстве, Нижний Новгород, 2020 год.

9. Садыков М.Р. Устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности/ Валиев А.Р., Адигамов Н.Р., Гималтдинов И.Х. //Патент на изобретение RU 2715584 С1, 02.03.2020. Заявка № 2019127086 от 27.08.2019.

10. Садыков М.Р. Повышение производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием/Адигамов Н.Р., Валиев А.Р., Гималтдинов И.Х., Шайхутдинов Р.Р., Садыков М.Р. //Техника и оборудование для села. 2020. № 4 (274). С. 34-38.

11. Садыков М.Р. Классификация технологий упрочняющих покрытий при ремонте деталей топливной аппаратуры / Адигамов Н.Р., Адигамов Н.Н. // В сборнике: Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ'2018 Материалы I международной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2018. С. 157-162.

РЕЦЕНЗИЯ

на научно-квалификационную работу (диссертацию)

аспиранта Садыкова Марата Рашитовича

Тема работы: «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием»

В процессе восстановления и упрочнения высокоточных деталей СХМ необходимо использовать новые комплексные технологии по повышению износостойкости, твердости покрытия рабочих поверхностей.

Качественный ремонт высокоточных деталей, которые имеют внутренние цилиндрические поверхности невозможен без разработки новых технологий изготовления и восстановления с использованием специализированного и универсального технологического оборудования, и оснастки. Такое производство невозможно без разработки и внедрения перспективных технологий в области восстановления высокоточных деталей СХМ.

В связи с этим важной задачей является разработка высокоэффективной технологии восстановления высокоточных деталей сельскохозяйственной техники. Поэтому работа аспиранта Садыкова Марата Рашитовича является актуальной.

По результатам экспериментальных, лабораторных и теоретических исследований, выполненных аспирантом Садыковым М. Р., были опубликованы статьи в научно-технических журналах и сборниках.

Изучив научно-квалификационную работу можно с уверенностью сказать, что аспирант готов докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной научной работы.

Лабораторные и экспериментальные исследования, проведенные аспирантом, подтверждаются в научно-квалификационной работе теоретическими данными. Выводы и заключение, сделанные в данной работе, аргументированы собственными результатами и результатами других авторов.

По диссертационной работе можно сделать заключение, что аспирант Садыков Марат Рашитович хорошо владеет навыками свободного и творческого использования научно-технической литературы и статистическими методами обработки опытных данных.

В данной работе проведен сравнительный анализ, серийных и экспериментальных данных исследований по эксплуатации высокоточных деталей СХМ, которые имеют внутренние цилиндрические поверхности.

Так же в научно-квалификационной работе имеются некоторые недостатки:

1. На странице 44 НКР на рисунке 2.5 для изображенной кривой закономерности распределения частиц противоположены, но объяснения этому нет.

2. Некоторые таблицы с большим числом строчек не подписаны продолжением таблицы на следующей новой странице в соответствии с ГОСТ.
3. Не ясно за счет чего достигается экономический эффект?

Учитывая все, сказанное выше, рекомендую допустить аспиранта Садыкова Марата Рашитовича к предоставлению доклада об основных результатах научно-квалификационной работы с пожеланиями о доведении проделанной работы до завершения уже в рамках кандидатской диссертации.

В целом представленная научно-квалификационная работа (диссертация) соответствует критерию, установленному Положением о присуждении ученых степеней утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

Член-корреспондент Академии наук
Республики Татарстан, Почетный ра-
ботник высшего профессионального
образования Российской Федерации,
Заслуженный деятель науки Республи-
ки Татарстан, заведующий кафедрой
«Дорожно-строительные машины»
ФГБОУ ВО «Казанский государствен-
ный архитектурно-строительный уни-
верситет,
д.т.н., профессор



Р.Л. Сахапов



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института Механизации и
технического сервиса Казанского ГАУ

_____ Яхин С.М.

«26» июня 2020г

АКТ

Об использовании (внедрении) научно-исследовательской работы
в учебном процессе

Мы, директор Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», д.т.н., профессор С.М. Яхин и заведующий кафедрой Эксплуатации и ремонта машин, д.т.н., профессор Н.Р. Адигамов составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы аспиранта кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Садыкова Марата Рашитовича на тему «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием» используются в учебном процессе Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

Материалы диссертационной работы используются студентами, бакалавриата и магистратуры, обучающимся по направлениям «Агроинженерия» и «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, а также при изучении дисциплин «Триботехника при восстановлении», «Ремонт машин», «Восстановление и упрочнение деталей», «Технология ремонта машин».

Зав. каф. Эксплуатации и ремонта машин
ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»
д.т.н., профессор


_____ Адигамов Н.Р.

РЕЦЕНЗИЯ

на научно-квалификационную работу (диссертацию)

аспиранта Садыкова Марата Рашитовича

Тема работы: «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием»

В экспериментальных и теоретических исследованиях аспиранта Садыкова Марата Рашитовича используются методы расчета, основанные на положениях теории надежности, математической статистики, теории вероятности и закона Фарадея. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики планирования эксперимента, стандартных и специальных методик металлофизических исследований. Обработка результатов осуществлялась методами многофакторного и статистического анализа.

По результатам исследований обоснованы режимные параметры и разработаны технологии для гальванического натирания высокоточных деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности.

Разработанная аспирантом Садыковым М.Р. технология восстановления высокоточных деталей СХМ методом гальванического натирания, позволяет повысить эффективность эксплуатации высокоточных деталей СХТ отечественных и зарубежных машин.

Основываясь на экспериментальных исследованиях, проведенных в лабораторных условиях, аспирант Садыков Марат Рашитович в своей работе наглядно продемонстрировал и описал конструктивно-технологические параметры и процесс восстановления высокоточных деталей СХМ. Аргументированные выводы и достоверные результаты исследований внесут весомый вклад в разработку новых конструкций сельскохозяйственной техники.

В процессе написания научно-квалификационной работы аспирант показал способность планировать и решать задачи своего профессионального и личностного развития.

Лабораторные экспериментальные исследования имеют логическое обоснование, их результаты совпадают с результатами других ученых.

У аспиранта Садыкова Марата Рашитовича имеются публикации в изданиях РИНЦ, ВАК и имеется один патент на изобретение.

Обоснованность и достоверность содержания научно-квалификационной работы подтверждаются теоретическими и экспериментальными данными.

В данной научно-квалификационной работе выполнен большой объем работ. Лабораторные эксперименты проводились на оборудовании, Казанского государственного аграрного университета.

Так же в научно-квалификационной работе имеются некоторые замечания:

1. Длинные таблицы с большим числом строчек в тексте не подписаны продолжением таблицы согласно требованиям по оформлению ГОСТ 1.5-2001.
2. На странице 56 НКР не приведена схема рисунка 3.1 со всеми обозначениями.
3. В теоретических исследованиях при разработке полинома был использован полином с равностоящими узлами интерполяции, необходимо изменять и шаг интерполирования.

В связи с вышеизложенным, рекомендуется допустить аспиранта Садыкова Марата Рашитовича к представлению доклада об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации) с пожеланием доведения до логического завершения работы в рамках кандидатской диссертации.

В целом, научно-квалификационная работа (диссертация) соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

Д.т.н., профессор кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет



Нуруллин Э.Г.

ОТЗЫВ

научного руководителя на научно-квалификационную работу (диссертацию) аспиранта Садыкова Марата Рашитовича

Тема работы: «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием»

При работе над научно-квалификационной работой аспирант Садыков Марат Рашитович, проявил себя вдумчивым, организованным и ответственным человеком за весь период обучения в Казанском ГАУ.

В процессе выполнения научно-квалификационной работы, аспирант, самостоятельно проводил лабораторные и экспериментальные исследования, связанные с конструктивно-технологическими параметрами. Все исследования выполнялись в назначенный срок и качественно.

В процессе обучения в аспирантуре Садыков Марат Рашитович проработал известные научные источники, проанализировал их и сделал аргументированные выводы.

Аспирант показал себя способным четко определять и формулировать цели и задачи, анализировать полученные результаты, самостоятельно определять пути преодоления возникающих трудностей. Следует отметить, что его работа над научно-квалификационной работой была начата ещё во время учебы в магистратуре, а его диссертационная работа послужила основой для продолжения научных исследований в аспирантуре по теме квалификационной работы.

Садыков Марат Рашитович проводил экспериментальные исследования в лабораториях Казанского ГАУ. Полученные результаты были проанализированы и по результатам исследований сделаны выводы.

Аспирант показал себя способным планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, а также способный планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать эти

результаты. Все полученные результаты регулярно докладывались на научных конференциях.

В процессе выполнения научно-квалификационной работы, аспирантом были обоснованы режимы электролитического натирания высокоточных деталей СХМ. Технологии восстановления и упрочнения позволяют повысить износостойкость деталей, имеющих внутренние цилиндрические поверхности в 1,8 раз. Результаты исследований были опубликованы в 12 статьях и 10 докладах в научно-практических конференциях.

В результате освоения программы аспирантуры в соответствии с направленностью 35.06.04 «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» у аспиранта Садыкова М.Р. сформированы компетенции:

- универсальная компетенция - способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);

общефессиональные компетенции:

- способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ОПК-1);

- способность подготавливать научно-технические отчёты, а также публикации по результатам выполнения исследований (ОПК-2);

готовность докладывать и аргументировано защищать результаты выполненной научной работы (ОПК-3);

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-4);

- профессиональные компетенции

- способность использовать законы и методы математики при решении задач оптимизации конструктивных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве (ПК-1);

- готовность проводить исследование и разработку требований, технологий, машин, орудий, рабочих органов и оборудования, материалов, си-

ством качества производства, хранения и переработки продукции в сельском хозяйстве (ПК-2);

- готовность проводить исследования и моделирование с целью оптимизации в производственной эксплуатации технических систем в сельском хозяйстве (ПК-3);

- способность обосновывать параметры и режимы работы сложных технических систем, машин, орудий, оборудования для производства, хранения и переработки продукции в сельском хозяйстве (ПК-4).

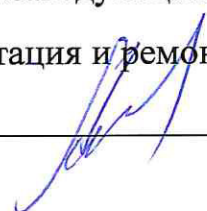
В целом, научно-квалификационная работа (диссертация) аспиранта Садыкова Марата Рашитовича соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На основании вышеизложенного считаю возможным допустить аспиранта Садыкова Марата Рашитовича к представлению доклада об основных результатах научно-квалификационной работы.

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

«Эксплуатация и ремонт машин»

Адигамов Н.Р.



УТВЕРЖДАЮ

Председатель заседания

Заведующий кафедры

«Эксплуатация и ремонт машин»

Н.Р. Адигамов

15 июня 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по научно-квалификационной работе (диссертации) аспиранта кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ Садыкова Марата Рашитовича на тему «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием» по специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

Протокол № 21 заседания кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ от 15 июня 2020 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ: профессор, д.т.н. Адигамов Н.Р., профессор, д.т.н. Галиев И.Г., профессор Калимуллин М.Н., доцент Матяшин А.В., доцент Сёмушкин Н.И., доцент Медведев В.М., доцент Вафин Н.Ф., доцент Шайхутдинов Р.Р., доцент Сафиуллин И.Н., доцент Ахметзянов Р.Р., доцент Гималтдинов И.Х., старший преподаватель Салахов И.М., старший преподаватель Сабиров Р.Ф., инженер Вафин И.Х., техник Мейзер А.В., старший лаборант Сафина М.И.

ПОВЕСТКА ДНЯ: обсуждение научно-квалификационной работы (диссертации) аспиранта кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ Садыкова Марата Рашитовича на тему «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием» по специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

СЛУШАЛИ: сообщение аспиранта Садыкова М.Р., изложившего основное содержание и результаты научно-квалификационной работы (диссертации).

Садыкову М.Р., были заданы следующие вопросы:

- В чём заключается Ваша новизна работы?
- Отличие гальванического электролитического натирания от других способов восстановления?

Какой ток Вы использовали в процессе осаждения и нанесения нового слоя металла на поверхность? И сколько вольт необходимо для благоприятных условий электролиза?

Почему были взяты такие компоненты как цинк и железо?

На все вопросы были даны исчерпывающие разъяснения и ответы.

ВЫСТУПИЛИ: д.т.н., профессор, зав. Кафедрой Адигамов Н.Р., к.т.н., доцент Гималтдинов И.Х.

Выступившие отметили актуальность проведенных исследований, их завершенность. Научную и практическую значимость.

ПОСТАНОВИЛИ: Принять следующее заключение по научно-квалификационной работе (диссертации) «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием».

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕЕ СВЯЗЬ С ОБЩЕ-НАУЧНЫМИ И ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННЫМИ ЗАДАЧАМИ

В ситуации рыночной экономики и конкуренции важной задачей для промышленных предприятий всех направлений считается ремонт и восстановление техники и отдельных ее частей. Более длительный процесс эксплуатации любой техники, и механизмов СХМ приводит к замене или восстановлению деталей, что последнее зачастую более экономичнее. Как показывают всевозможные изучения до 80% изношенных цилиндрических деталей машин и устройств целесообразно восстанавливать, используя современные технологии и методы. В этом случае необходимо стремиться к увеличению качества покрытий, износостойкости, повышению физико-механических свойств покрытий при одновременном снижении расходов материала.

Все рабочие поверхности высокоточных деталей сельскохозяйственной техники, которые имеют внутреннюю поверхность, со временем подвергаются износу, это связано с значительными динамическим, температурными нагрузкам и химическими. К таким деталям можно отнести, гильзы цилиндра двигателей, коренные опоры ДВС, корпус задней крышки КПП, картер коробки, корпус КПП, крышка двигателя, картер (кожух) маховика, картер распределительных шестерен, стакан подшипника и т.д.

Таким образом, актуальным направлением НКР является разработка и внедрение новых и ресурсосберегающих технологий, выбор качественного и дешевого и более простого оборудования, инновационных и новых устройств, дешевого материала для восстановления внутренних цилиндрических отверстий, представляют большой теоретический и практический интерес.

2. КОНКРЕТНОЕ ЛИЧНОЕ УЧАСТИЕ АВТОРА В ПОЛУЧЕНИИ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ИЗЛОЖЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Цель и задачи, результаты теоретических и экспериментальных исследований, их анализ, представленные в диссертации. Выполнены при личном участии аспиранта.

3. СТЕПЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные научные положения и выводы, сформулированные по результатам диссертационного исследования, обсуждались и получили положительную оценку на международных, всероссийских научно-исследовательских и практических конференциях, в том числе: научно-практическая конференция «Аграрная наука XXI века»; 18 января 2018 года; 76-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука, аграрному производству»; 11-12 апреля 2018 года; международная научно-практическая конференция: «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса». 15-16 мая 2018 года; «Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 7 декабря 2018 года; научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ 2018» Липецк, 12-13 декабря 2018 года; 77-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»; 9-10 апреля 2019 года; III международная научно-практическая конференция: «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», посвященная памяти д.т.н., профессора Волкова Игоря Евгеньевича, Казань, 22 мая 2019 года; «Пятьдесят лучших инновационных идей для Республики Татарстан» Номинация «Старт инновации», 12 декабря 2019 года; Российская национальная научно-практическая интернет-конференция для обучающихся и молодых ученых «Рост и воспроизводство научных кадров в сельском и лесном хозяйстве», Нижний Новгород, 18–19 декабря 2019 года.

4. НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ АВТОРОМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработан новый способ формирования покрытия на внутренние цилиндрические рабочие поверхности высокоточных деталей СХМ на основе компонентов Fe-Zn.

2. Высокопрогрессивная технология формирования компонованного покрытия электролитическим натиранием.

3. Разработка методики теоретических исследований износостойкости гальванопокрытий, аналитические зависимости качественных показателей и

кинематическое моделирование параметров электролиза композиционных гальванических покрытий.

4. Новое устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности.

Новизна технических решений подтверждается патентом Российской Федерации на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

5. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитических зависимостей динамики изнашивания, покрытых слоем восстанавливающего и упрочняющего материала, новых закономерностей влияния условий осаждения электролитических сплавов Fe-Zn на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства восстановленной поверхности деталей СХМ имеющие внутренние цилиндрические поверхности электролитическим натиранием.

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты доведены до алгоритмов технологии, позволяющих использовать их в качестве перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники имеющие внутреннюю цилиндрическую поверхности гальваническим натиранием.

6. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Содержание научно-квалификационной работы (диссертации) аспиранта кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ Садыкова Марата Рашитовича соответствует паспорту специальности 05.20.03– Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

7. ПОЛНОТА ИЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ) В ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТАХ

По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в том числе, в изданиях, рецензируемых ВАК Российской Федерации 1 статья, 6 статей находятся в печати в издании, получен 1 патент на изобретение RU №2715584, МПК C25D5/06, опубликовано: 02.03.2020 бюл. № 7.

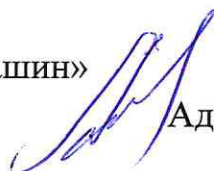
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предусмотренные образовательной программой универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции у Садыкова М.Р. сформированы на достаточно высоком уровне. Что позволяет сделать вывод о полном освоении программы аспирантуры 35.06.04 – Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве.

В связи с вышеизложенным рекомендуем допустить аспиранта Садыкова Марата Рашитовича к защите научно-квалификационной работы (диссертации) с пожеланием доведения до логического завершения работы уже в рамках кандидатской дисциплины.

Считаем, что научно-квалификационная работа (диссертация) на тему «Обоснование параметров технологического процесса восстановления высокоточных деталей гальваническим цинко-железным покрытием» соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

Зав. Кафедрой «Эксплуатация и ремонт машин»
д.т.н., профессор



Адигамо́в Н.Р.

Секретарь



Сафина М.И.