

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра Эксплуатации и ремонта машин
Направление подготовки –350406 Агроинженерия
Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
ТЕМА: ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД
ПОДШИПНИКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСМИССИИ КОМБАЙНА «ПОЛЕСЬЕ КЗС-7»
МЕТОДОМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО НАРАЩИВАНИЯ

Магистрант _____ Хафизов И.Р.

Научный руководитель,
д. т. н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол №____ от _____ 2019 г.)

Руководитель магистерской программы,
д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2019 г.

АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Хафизова Ильдара Радиковича на тему
«Восстановление посадочных мест под подшипники корпусных деталей
трансмиссии комбайна «Полесье КЗС-7» методом гальванического
наращивания»

Диссертация выполнена на страницах. Она содержит таблиц
и рисунков. Список использованной литературы состоит из
наименований.

В первой главе рассмотрены основные дефекты корпусных деталей трансмиссии комбайна и причины их появления, охарактеризованы виды изнашивания, которыми подвергается корпусные детали трансмиссии комбайна. Рассмотрены используемые методы восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна. Наиболее приемлемым способом в нашем случае является гальванический способ восстановления.

Во второй главе рассмотрены сущность предлагаемого способа восстановления и теоретическое обоснование толщины наращивания.

В третьей главе изложена программа и методика экспериментов исследований. Изложена методика определения толщины, микротвердости и износостойкости покрытия.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных исследований. Получены экспериментальные данные влияния сульфата железа, сульфата цинка, серной кислоты и температуры электролита на толщину, микротвердость и износостойкость покрытия.

В пятой главе изложена технология восстановления посадочных мест под подшипники в условиях производства. Предлагается установка для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7 в условиях производства.

В шестой главе приведены расчеты экономической эффективности внедрения предлагаемого процесса восстановления посадочных мест подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одним из основных вопросов, связанный с поддержанием работоспособности машин, является ремонт. На сегодняшний день парк машин оснащен изношенной техникой, это обязывает ремонтное производство увеличивать и совершенствовать свой технический уровень ремонта машин. Необходимо путем внедрения прогрессивной технологии и новой техники расширять технические возможности. Практикой и наукой придается огромное значение увеличению ресурса машин, путем восстановления деталей.

Современном ремонтном производстве применяется различные способы восстановления изношенных деталей машин. К ним относятся: наплавка сваркой, вибродуговая и наплавка под слоем флюса, металлизация напыление, восстановление с помощью клеев и смол, детонационное напыление, газопламенным напылением. Любой из этих методов приемлем, для восстановления изношенных деталей до первоначальных размеров. Но в то же время эти способы имеет ряд существенных недостатков и преимуществ, которые либо снижают экономическую эффективность или создают технические трудности при восстановлении.

Многочисленными исследованиями установлено, что восстановление дорогостоящих деталей экономически выгодно, так как себестоимость заготовки детали при производстве в среднем составляет 70-75% от стоимости новой детали. Восстановление изношенных деталей также выгодно и по экологическим соображениям, так как при изготовлении детали в металлургических заводах загрязняет природу. Себестоимость восстановления деталей намного меньше, чем при изготовлении новой детали. Восстановление изношенных деталей является главной задачей экономической эффективности [].

При износе посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна происходит потеря точности взаимного расположения поверхностей. В результате изнашивания поверхности и старения материала детали происходит нарушение посадки, в результате нарушается посадка в соединении.

Срок службы и долговечность корпусных деталей трансмиссии комбайна в значительной степени зависят от технического состояния корпусных деталей трансмиссии комбайна. Целью настоящей работы является обоснование параметров и режимов восстановления постелей коренных подшипников корпусных деталей трансмиссии комбайна.

Цель работы. Исследование и обоснование режимов восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна методом осталивания в цинк-железном электролите.

Задачи исследования:

- провести экспериментальные исследования износов посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна;
- провести экспериментальные исследования по обоснованию режимов восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7 методом осталивания в цинк-железном электролите на моделях;
- Определение толщины покрытия после восстановления.
- Определение микротвердости восстановленного слоя.
- Определение износостойкости восстановленного слоя.

Объект исследования. Технологический процесс электролитического осаждения железо-цинкового покрытия.

Предмет исследования. Составы электролитов и режимы нанесения железо-цинковых покрытий.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Исследование дефектов корпусных деталей трансмиссии комбайна

Полесье КЗС-7

В современных экономических условиях большое значение имеет повышение надежности ремонта машин и увеличение их ресурса. Основной задачей ремонтного производства является повышение качества ремонта и снижение себестоимости. Трансмиссия комбайна Полесье КЗС-7 является основным агрегатом в кормоуборочном комбайне, на долю которого приходится большое число отказов.

После ремонта ресурс двигателей обычно составляет 35...40% от ресурса новых. Основные причины низкого ресурса трансмиссия комбайна после ремонта [] являются: плохая приработка деталей после ремонта; низкое качество обработки поверхностей детали; недостаточная специализация производства на ремонтных предприятиях.

Совокупность явлений в процессе трения определяет вид и интенсивность износа. Основные виды изнашивания рассмотрены в трудах известных ученых [].

Изнашивание при трении можно квалифицировать по характеру основных явлений (ГОСТ 27674-88), рисунок 1.1.

Восстановление дорогостоящих деталей экономически выгодно, так как стоимость заготовки детали при производстве в среднем составляет 70-75% от стоимости новой детали. Восстановление деталей выгодно и по экологическим критериям, так как при изготовлении детали в металлургических заводах загрязняется природа. Себестоимость детали намного меньше, чем при изготовлении новой детали. Главной задачей экономической эффективности ремонта деталей заключается в восстановлении изношенных деталей.



Рисунок 1.1 - Классификация видов изнашивания

В результате механического износа появляется искажение размеров профиля отверстий корпусных деталей. При трении и в результате ударных нагрузок не только изменяется размер посадки, но и форма детали. При старении и изнашивании поверхностей детали изменяется исходная посадка, в результате чего увеличивается зазор в соединении, или уменьшается натяг при соединении с натягом[].

Износ деталей цилиндропоршневой группы в основном происходит в результате коррозии, трения поршневых колец и действия абразивных частиц.

Существенное влияние на износ деталей шестерней и валов оказывает взаимное их расположение. В результате неправильной приработки деталей ухудшается непараллельность осей, в результате неперпендикулярности осей, неточности взаимного расположения осей приводят к перекосу шестерен в блоке. В результате перекоса снижается контакт в зубьях, ухудшается качество масла, происходят быстрое его засорение и старение продуктами износа.

Проведенные микрометрические исследования посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7

подготовленных для сборки показывает, что отклонение овальности гнезда под коренным превышает 4-5 раз, а несоосность коренных опор превышает норму в 1,3-3,0 раза. В результате изменения овальности отверстий коренных опор площадь соприкосновения снижается, это приводит к нагреванию подшипников, а также снижению теплоотдачи.

При высоких температурах деформации подшипников качения возникает интенсивная фреттинг-коррозия пары. При трении нарушаются посадочные места под подшипники корпусных деталей, а также подшипников качения, в результате чего ухудшается теплоотдача от износа подшипника, и износ посадочного места подшипника повышается, это приводит к уменьшению монтажного натяга подшипника.

Стирание и смятие это два процесса, которые слагаются в посадочных местах подшипников качения. При пластичности металла происходит процесс смятия, которой характеризуется остаточной деформацией металла, в результате изменяются размеры трущихся деталей.

При молекулярно-механической природе трения изменения размеров детали заключается в следующем: если к идеально гладкой поверхности приложить нормальную нагрузку, то эта гладкая поверхность станет все же шероховатой. Это получается по причине, что отдельные элементы ее по механическим свойствам анизотропны и под действием одной и той же нагрузки по разному будут деформироваться. Это приводит к неизбежному механическому взаимодействию, не смотря на гладкую поверхность. В результате этого возникает износ, скорость изнашивания зависит не только от физико-механических свойства метал но и от внешних условий, такие как характер нагрузки, скорость скольжения, температура взаимодействующих тел, характер движения, окружающая среда и т. п. []

В результате те места, которые контактируется в одном случае, могут разрушаться при первом же контакте, а в других случаях – после многократном повторе взаимодействий, в третьих, будут пластически или упруго деформироваться при этом не отделяется от основы материала.

Деформация корпусных деталей трансмиссии комбайна происходит вследствие следующих причин:

1. Динамические нагрузки, при работе трансмиссии и в целом сельскохозяйственной техники.
2. Коробление и старение чугуна блока.
3. Напряжение при повышении температуры в трансмиссии, которые появляются при технически неграмотном эксплуатации.
4. Остаточные напряжения в корпусных деталях трансмиссии комбайна, которые появляются при ремонте высокотемпературными способами восстановления.

Несоосность посадочных мест под подшипники чаще всего происходит из-за деформирования корпусных деталей трансмиссии комбайна. Как правило, естественный износ посадочных мест под подшипники не наблюдаются. Но во время эксплуатации происходит аварийный износ, который влечет за собой резкое изменение нагрузки. В результате посадочные места под подшипники восстанавливают гальваническим методом.

Теоретически установлена, что при увеличении несоосности посадочных мест под подшипники на 1,5-2 раза увеличиваются динамические моменты на валах трансмиссии.

Основная причина износа неподвижных сопряжений машин – нарушение неподвижности посадки.

Разрушение резьбы в крепёжных отверстиях происходит при неправильной затяжке крепёжных болтов. В этом случае возможно нарезание резьбы большего диаметра [].

Грязь и посторонние частицы попадают в трансмиссию различными путями. Они могут быть оставлены внутри, после завершения капитального ремонта. Часто грязь попадает сначала в трансмиссионное масло и уже вместе с ним проникает в подшипники. Не следует забывать, что в процессе нормального износа трансмиссии неизбежно образуются металлические

опилки. Если после выполнения восстановительных работ должное внимание не будет уделено процедуре чистки трансмиссии, в нем непременно останутся частицы абразива. Вне зависимости от способа проникновения в трансмиссию, все посторонние частицы рано или поздно окажутся в подшипниковых узлах.

Разрушаются шлицевые, шпоночные соединения и посадочные места под установочные штифты, а также под шестерни. Причиной этого износа является нарушение затяжки болтов, крепящих шестерни или шкивы. Также биение шестерён и шкивов приводит к разрушению шлицевых и шпоночных пазов.

Наиболее изнашиваемыми частями корпусных деталей трансмиссии комбайна являются несущие опоры. Этот дефект появляется при работе комбайна в условиях динамических нагрузок. Поэтому основной задачей ремонтного производства является улучшение условий работы и снижение факторов влияющих на качество ремонта при восстановлении корпусных деталей трансмиссии комбайна.

Основная причина отказов неподвижных сопряжений корпусных деталей трансмиссии комбайна - нарушение неподвижности посадки.

1.2 Основные способы восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

Рассмотрим широко используемые методы восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна, а также основные методы наплавки, которые широко используются в ремонтном производстве.

Для восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна используется контактная приварка стальной ленты. При этом на изношенную поверхность корпусных деталей трансмиссии

комбайна устанавливается стальная лента, потом она контактной сваркой приваривается к поверхности отверстия корпуса.

Далее на радиально-расточном станке обрабатывается восстановленная поверхность. В обработанные места дефекта устанавливается лента с размером ширины гнезда. Толщина ленты выбирается в зависимости от величины износа в пределах от 0,4 до 0,8 мм. Сварочный ролик вводят на глубину наложения первого шва. Первоначально включается насос, который охлаждает жидкость ролика, вращения шпинделя станка, пневматический привод и ток которой ролик обкатывает стальную ленту с определенным давлением, накладывая сварной шов. Герметичность шва обеспечивает определенный шаг сварных точек по всему параметру гнезда. После начала перекрытия на 5 - 6 точек заканчивают наложение шва.

При напряжении 4-5 В производят процесс приварки ленты, цикл сварки составляет 0,24 с., сварной ток 7,5 - 8,0 кА, при скорости сварки 0,58 м/мин, ролики прижимаются с усилием 1,8-2,0 кН, расход охлаждающей жидкости составляет 1-1,5 л/мин [].

Процесс образования сварной точки длится около 0,05-0,1 с, поэтому сварка стальной лентой не приводит в сварном соединении значительном напряжению, и происходит под действием давления и при высоких скоростях нагрева, которые способствует уплотнению металлов.

Способ восстановления дефекта детонационным напылением заключается в следующем: напыляемый порошок и горячая смесь подаются в рабочую камеру детонационной установки, из рабочей камеры по отвалу пламя поднимается смесь с помощью электрической искры и распространяется с возрастающей скоростью до возникновения детонационной волны. Скорость распространения детонации зависит от характеристики горючей смеси, в среднем составляет 600...1000 м/с [].

При детонации продукты детонации увлекают за собой частицы порошка, которые получают кинетическую и тепловую энергию. Скорость порошка составляет 600...1000 м/с. Поток газа разбрызгивает порошок на

изношенную поверхность, который покрывается частицами напыляемого порошка. При детонационном напылении температура нагрева частицы меньше, и скорость частицы высокая.

Недостатками детонационного напыления являются: деталь нагревается до 200-250 °С, при этом в некоторых случаях может возникнуть внутренние напряжения; повышенный шум; себестоимость восстановления деталей высокая; производительность низкая (расход порошка 1,8 кг/ч).

Для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна также применяется плазменная наплавка[]. При этом методе в качестве источника энергии применяется струя плазмы. Плазма это частично или полностью ионизированный газ, который нагревается до очень высокой температуры и обладает свойством электропроводимости. На плазмотронах или на плазменных горелках получают плазменную струю. В качестве плазмообразующего газа применяют азот, аргон, гелий, водород и водородные смеси. При плазменной наплавке скорость истечения плазменной струи составляет до 1000-1500 м/с и наибольшую температуру (до 1520 °С). При плазменной наплавке присадочный материал вводится в сварочную ванну в виде проволоки или порошка. Для получения плазменной струи между катодом и анодом, возбуждают электрическую дугу, и в зону горения вводят плазмообразующий газ, который ионизируется и нагревается до высокой температуры, т.е. распадается на отрицательно и положительно заряженные ионы. Преимуществами плазменной наплавки детали является: высокая концентрация тепловой энергии в плазменной струе, возможность отдельного регулирования степени нагрева присадочного и основного материалов, стабильность дугового разряда, возможность регулирования физико-механических свойств получаемого покрытия в широких пределах в зависимости от материала восстанавливаемых деталей и производительность высокая (около 3...8 кг/ч).

Недостатками плазменной наплавки является очень высокая стоимость оборудования и стоимость эксплуатационных затрат, сильно выделяется ультрафиолетовое излучение.

Газопламенное напыление. Способ восстановления газопламенным напылением заключается в следующем: порошок напыляется газовой струей, которой нагревается пламенем газа до вязкотекучего или жидкого состояния. После того в зону плавления подается порошок при с помощью трансформирующего газа [].

Перед началом работы деталь обезжиривают. При газопламенном напылении применяют установку УЛН-8-64. Он состоит из автономно расположенного питателя, распылительной головки и вспомогательного оборудования. Установка работает на ацетилено-кислородном пламени. Для трансформации применяется газ – кислород.

Преимущество газопламенного напыления: использование pistolsов разных размеров, отсутствие высокого напряжения и возбуждающих газов, отсутствие электродов.

Для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна применяется также метод местного осаждения. При этом сначала герметизируют ванну снизу, потом заливают электролит, устанавливают анод и подключают к источнику тока. А ванночкой служит само отверстие.

При железнении используют электролит, плотность тока составляет при 10...20 А/дм². Электролит нагревают до температуры 50...60 °С а потом заливают в местную ванну. В процессе восстановления температуру электролита поддерживают в пределах 60...70 °С.

Чаще всего анодные травления поверхности детали проводят непосредственно в электролите железнение: травление проводят при плотности тока 10-15 А/дм², включают ток обратной полярности (“+” на деталь и “-” на анод) в течение 1...1,5 мин. После этого переключают

полярность (“-” на деталь и “+” на анод) и выполняется железнение до необходимой толщины покрытия[].

Преимущества железнения: можно регулировать твердость покрытия в пределах от НВ 150 до НВ 600, дешевые расходные материалы.

Недостаток при железнении: кислотность электролита нестабильный и необходимо подогревать при горячем осталивании, большая трудоемкость.

Для восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна под подшипники применяются эпоксидные композиции, в которые кроме эпоксидной смолы (ЭД-16; ЭД-20) входят наполнители, пластификаторы и отвердители. Пластичность, эластичность и стойкость к температурным колебаниям эпоксидных композиций повышают пластификаторы. А механическую теплостойкость, прочность, теплопроводность эпоксидных композиций повышают наполнители, также они уменьшают их усадку и хрупкость. В качестве наполнителей используют чугунный или стальной порошок, порошки слюды, алюминиевую пудру и графита. Отвердители превращают композицию из жидкого состояния в твердые[].

Технологический процесс восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна включает следующие операции: приготовление композиции, обезжиривание и зачистка изношенных поверхностей, нанесение раствора поверхности, термическая обработка. Раствор состоит из: эластомера ГЭН-150(В) и 6,2 части ацетона; или 2 части эластомера 6Ф, 5 частей ацетона и 5 частей этилацетата.

Раствор эластомера наносят на изношенную поверхность в вытяжном шкафу кисточкой. Не допускается перекрытия слоев при нанесении раствора. Толщина пленки одного слоя равна 0,01 мм. После покрытия деталь выдерживают 20 мин, а затем помещают на сушильный шкаф. Процесс проводится при температуре 120 °С в течение 30 мин. Каждый последующий слой до получения необходимой толщины наносят после термообработки предыдущего. Перед сборкой поверхность детали, покрытой эластомером,

смазывают графитной смазкой, охватывающую деталь подогревают до температуры 120—140°С.

Преимущества: покрытие обладает высокими физико-механическими свойствами, низкая трудоемкость ремонта. Кроме того следует отметить, что восстановление полимерными материалами не вызывает снижение усталостной прочности поверхности детали.

Недостатки клеевых соединений: невысокая температура эксплуатации, не превышающая 200—300° С, низкая прочность при неравномерном отрыве, склонность к «старению» при воздействии различных внешних факторов.

Но эти способы восстановления посадочных мест под подшипники являются далеко несовершенными, и требуют дефицитного материала, дорогого оборудования, и по экономическим показателям невыгодны. Вследствие высокой температуры восстановления происходит структурное изменение, а также искажение геометрической поверхности восстанавливаемой детали, поэтому некоторые из выше описанных способов восстановления невозможно применить.

Актуальной задачей в ремонтной практике является восстановление посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна. Гальванический способ восстановления корпусных деталей трансмиссии комбайна, который имеет внутренний износ поверхностей, является практически приемлемым способом восстановления. Другие способы восстановления не обеспечивают требуемых свойств покрытий []. Поэтому большой практический и теоретический интерес представляет поиск выбора дешевого оборудования, и более дешевого материала для восстановления посадочных мест под подшипники двигателя.

Осталивание является одним из таких способов восстановления гальваническими покрытиями. При этом внимание к местному способу восстановления посадочных мест под подшипники обусловлено тем, что этот способ имеет ряд преимуществ и достоинств. Этим методом можно получить

покрытия с заданными свойствами, также достигается высокая производительность. Восстановление деталей осталиванием даёт возможность:

- получить покрытия с различными значениями твёрдости и износостойкости;
- по всей поверхности восстановления создается равномерные по толщине покрытия, тем самым снижается затраты на последующую обработку;
- производительность восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна высокая.

При восстановлении изношенных деталей широкое применение получили ваннанный метод восстановления. При струйным и проточным способе восстановления изношенных деталей происходит принудительная циркуляция электролита, это увеличивает производительность в 3,5-4 раза, и покрытия получается равномерным до 1 мм на сторону. Проточный метод нанесения покрытия, результате интенсивного обновления электролита и равномерного распределения тока повышенной плотности, дает возможность получению мелкодисперсной структуры, покрытий с высокой твердостью, снижению в них остаточных напряжений [71,73]. При восстановлении крупных деталей сложной конструкции возникают некоторые трудности, это связано с изоляцией мест, которые не подлежат покрытию, сложная конфигурация подвесных устройств, необходимо иметь ванны большого размера, быстро загрязняется электролит и др [2,8,9,10,31,34]. В таблице 1.1 приведены основные характеристики способов восстановления гальванических наращиваний [].

Таблица 1.1 - Характеристики способов восстановления

№ п/п	Состав электролитов и режим осаждения	Хромирование	Никелирование	Железнение	Меднение	Кадмирование	Цинкование	Покрытие гальваническими сплавами
1	Компоненты, г / л	Cr ₂ O ₃ : 200-300	NiSO ₄ : 30	FeCl ₂ :400-600	CuSO ₄ :200 - 300	CdSO ₄ : 50	ZnSO ₄ : 200-300	ZnSO ₄ : 100-200
		H ₂ SO ₄ : 2,0-2,5	Ni ₃ P: 10	HCl: 0,6-0,8	SnSO ₄ : 50	H ₂ SO ₄ : 50	Na ₂ SO ₄ : 50-100	FeSO ₄ : 180-250
			Na ₂ SO ₄ : 10	NaCl:100	Na ₂ SO ₄ : 50	Желатин: 10	Al ₂ (SO ₄) ₃ : 30-50 Борная кислота	
			Уксусный натрий	Аскорбиновая кислота	H ₂ SO ₄ : 50 Фенол: 10	Нафталин		
2	Режим:							
2.1	Температура, °С	50-60	95-100	65-80	20-25	19-22	19-22	40-43
2.2	Выход по току, %	13-14	90-95	85-95	90-95	90-95	90-99	86-93
2.3	Кислотность, pH		4,7-5,7	0,5-1,5	2,9-3,1	1,7-2,4	4,1-4,7	3,1-3,4
2.4	Плотность тока, А/см ²	0,2-0,6	0,09-0,12	0,09-0,6	0,01-0,02	0,016-0,02	0,02-0,09	5-10
3	Коэффициенты:							
3.1	Износостойкости	1,68	0,88	0,92	0,61	0,61	0,61	0,93
3.2	Долговечности	0,73	0,94	0,97	0,68	0,74	0,74	0,74
3.3	Выносливости	0,98	0,81	0,83	0,88	0,88	0,87	0,88
3.4	Прочность сцепления	0,83	0,69	0,76	0,86	0,84	0,84	0,81
4	Толщина покрытия, мм	0,4	0,1ч0,4	0,5ч 1,6	0,1ч0,4	0,1ч0,4	0,1ч0,4	0,3 ч 1,3
5	Выход по току, %	80ч95	90ч96	12ч14	90ч95	90ч96	90ч99	85ч93
6	Энергоемкость восстановления, кВт·ч/м ²	325	121	122	119	116	116	122
7	Р, г/см ³	6,6	8,9	7,9	8,9	8,65	7,3	7,9
8	ЕЭХ, г/А·ч	0,324	1,096	1,043	2,38	2,098	1,23	1,043

Применение периодического тока с обратным импульсом позволяет улучшить качество покрытия и увеличить производительность процесса. Большой интерес представляет осаждение металла при асимметричном, реверсивном и импульсном токах.

1.3. Осаждение электролитических сплавов

Электроосаждение проходит за счет совместного разряда на катоде ионов двух или более металлов, которые взаимодействуют при строении кристаллической решетки. При совместном осаждении различных металлов на катоде образуются механические смеси, химические твердые растворы.

Цинк-железные покрытия можно осаждать, изменяя в электролите содержание иона железа или цинка. При изменении концентраций реагирующих веществ в приэлектродных слоях возникает смещение частиц в направлении убывания.

В случае применения высоких плотностей тока при процессе электролиза, скорость доставки ионов к поверхности катода гораздо меньше, чем скорость электрохимического акта разряда или ионизации, и кинетика электродной реакции в целом определяется концентрационной поляризацией.

Исследования показали, что при увеличении ионов марганца в электролите качество покрытий химических сплавов железо-цинк и электролитическим железом увеличивается. Поэтому сначала нужно выяснить, как влияет добавление сернокислого марганца на качество получаемого покрытия. Применение проточного электролита, при химическом электроосаждении, позволяет увеличить плотность тока, за счет этого увеличивается скорость осаждения при восстановлении блок картера. При осаждении сплавов с различными содержаниями составляющих компонентов электролита, дает возможность получения необходимых физико-механических свойств покрытий, это происходит в связи с

изменением концентрации их ионов в электролите и изменения режима электролиза, которые влияют на величину поляризации катодного выделения компонентов сплава [1].

При гальваническом восстановлении изменение скорости перемешивания электролита может оказать влияние на химический состав покрытия. Лайнер В.И. указывает, что если увеличить скорость перемешивания электролита, то увеличивается выделение на катоде наиболее электроположительного металла. При увеличении разрядов ионов электроположительный металл возрастает, и химический сплав обогащается этим компонентом [2].

Но есть и другой случай, в результате перемешивания электролита повышается содержание в катодном осадке электроотрицательного компонента, когда электроположительный компонент сплава выделяется с химической поляризацией и при перемешивании электролита деполяризации процесса ее выделение не происходит.

Также необходимо определить, как влияет качество покрытия и химический состав от интенсивности подачи электролита в прикатодное пространство.

Цинко-железные покрытия, с различным количеством содержания железа, можно осаждать из электролитов изменяя содержание цинка в растворе и содержание ионов. При разработке электролитов, которые имеют повышенные концентрации посторонних анионов, дает возможность увеличивать производительность процессов наращивания, а также улучшаются физико-механические свойства покрытий.

Например, при хромировании наибольший интерес представляет саморегулирующийся электролит. В состав этого электролита вводят соли, которые трудно растворяются; кремне-фторид калия K_2FSiO_6 или сульфата стронция $SrSO_4$. Ионы SO_4 вводят в ванну в виде сульфата стронция $SrSO_4$. Количество сульфата стронция вводится в электролит, несколько превышающей его растворимость. Эта соль, которой находится на дне

ванны, переходит в электролит по мере его истощения и восстанавливают необходимую концентрацию.

Производительность при восстановлении детали хромом в электролите повышается в 2-2,5 раза, чем при восстановлении с хромированием в универсальном электролите.

Наиболее широкое применение в ремонтном производстве получили восстановление деталей вневанными методами при использовании гальванических методов восстановления.

При поточном и струйном способах восстановления изношенных деталей имеет место принудительной циркуляцией электролита, которой обеспечивает увеличение производительности в 3,5-4 раза, и очень высокая равномерность покрытия до 1 мм на одну сторону. Проточный метод нанесения покрытия, в результате интенсивного обновления электролита и равномерного распределения тока повышенной плотности, дает возможность получения мелкодисперсной структуры, покрытий с высокой твердостью, снижению в них остаточных напряжений [].

При восстановлении крупных деталей сложной конфигурации (блоки цилиндров, задних мостов, коленчатых валов и др.) могут возникнуть трудности, которые очень сложно изолировать при электроосаждении и очень быстро загрязняется электролит. Также нужно иметь сложные и объемные подвесные устройства, большие ванны.

Для восстановления дефектов размеров отверстий в блок картере, применяется вне ванный способ. Применение этого способа заключается в том, что над восстанавливаемой поверхностью детали создается местная ванна. На ванну электролит прокачивается насосом. При этом производительность при проточном методе увеличивается тогда, когда над изношенной поверхностью создается турбулентный режим течения электролита, которой достигается при скорости протекания электролита более 1 м/с. [].

Прогрессивные приемы нанесения гальванических покрытий путем электролиза раствора с обратным импульсом и периодическим током, которые позволяют, увеличить производительность процесса, также улучшается качество покрытия. При осталивании большой интерес получили применение ассиметричных, реверсивных и импульсных токов.

На рисунке 1.2 представлена кривая периодического тока, которая получается при использовании только одной фазы электрической сети. Она получается при наложении синусоидальной переменной. Характеристикой периодического тока с обратным импульсом являются следующие параметры: период колебания (T), амплитудная величина прямого тока (Y_M^K) и обратных импульсов (Y_M^a).

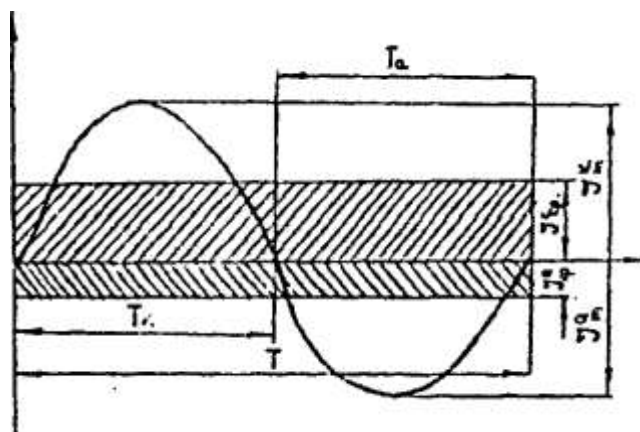


Рисунок 1.2 - Кривая периодического тока

Использование периодических токов имеет преимущество по сравнению с постоянным током, изменяя значение параметров обратного импульса можно управлять физико-механическими свойствами и структурой покрытий. Кроме этого повысив среднюю плотность тока прямого импульса до $0,60-0,80 \text{ A/m}^2$ можно получить высокую прочность покрытия.

Следует отметить, что электроосаждение сплавов не получило широкого применения и до сих пор занимает второстепенное место. Основным недостатком является различие потенциалов равновесия металлов, которые находится в электролите, которые особенно резко проявляются в растворах из простых солей [].

Электроосаждение сплавов является совокупность процессов совместного разряда на катоде ионов двух и более металлов в результате образуется кристаллическая решетка. В ходе совместного осаждения более двух металлов на катоде образуются химические соединения, механические смеси, твердые растворы [].

Твердые растворы образуются только тогда, когда атомы одного металла вытесняют атомы другого металла, которые находятся на узлах кристаллической решетки. И свободные атомы занимают промежутки между свободными узлами кристаллической решетки растворителя. Такие процессы называются твердыми растворами внедрения. В результате в твердых растворах уменьшается число атомов, и появляются свободные узлы в его кристаллической решетке.

Увеличение поляризации разряда более электроположительного компонента сплава может быть достигнуто: связыванием катионов металлов в комплексные и металлоколоидные комплексы; образованием на поверхности катода адсорбционных пленок, тормозящих протекание одного из процессов разряда; увеличением катодной плотности тока, приводящей к возрастанию химической поляризации более электроположительного компонента сплава или к осаждению его на предельном токе. Отсюда следует, что:

- в большинстве случаев повышение плотности тока увеличивает содержание электроотрицательного металла в катодном осадке;
- изменение концентрации комплексообразователей оказывает влияние на ионные равновесия между комплексными и простыми ионами, существенно изменяет концентрацию простых ионов и потенциала их выделения, что вызывает заметное изменение в составе сплава;
- изменение температуры влияет на величину константы нестойкости комплексных ионов, вызывает изменение состава катодного осадка;
- перемешивание электролита увеличивает содержание в катодном осадке металла, обладающего, более положительным потенциалом.

Наиболее приемлемым, является цинк-железное покрытие, так как это покрытие хорошо сцепляется с основой и применяемые материалы для восстановления дешевые.

Изношенные поверхности целесообразно восстанавливать электроосаждением одиночных сплавов и металлов []. Гальванические покрытия имеют ряд преимуществ по сравнению с другими способами восстановления:

- отсутствует термическое воздействие на деталь;
- можно получить разные по физико-механическим параметрам покрытия, что позволяет восстанавливать детали из легированных, углеродистых сталей и сплавов цветных металлов;
- создается по всей поверхности детали равномерные по толщине покрытия, в результате снижаются затраты на механическую обработку;

Исследуемую деталь – корпусные детали трансмиссии комбайна на наш взгляд, можно восстанавливать следующими способами: контактный, ванный, проточный и проточно-контактный. Контактным методом наносят цинк-железные и цинковые покрытия.

Многие исследователи занимаются изучением новых перспективных способов получения покрытия. Существующие покрытия имели очень низкие физико-механические свойства и во многих случаях давали усадку. Кроме того, адсорбирующая ткань которой, используется в качестве анодного тампона заполняется шламом, восстанавливаемая поверхность покрывается металлом, в результате свойства покрытия изменяется. В результате требуется дополнительная механическая обработка. Также анодный тампон имеет малый ресурс, при контактном способе невозможно получить качественные покрытия толщиной не более 0,1 мм. В дальнейшем было разработано осаждение цинк-железных покрытий в потоке раствора электролита с одновременным вращением анода. В результате применение вращающегося анода с волосяными щетками удалось увеличить плотность катодного тока, толщину покрытия и ресурс анода [].

А.А. Глубцов предлагает ванный способ осаждения гальванических покрытий без изоляции непокрываемых мест. При этом малые детали целиком погружаются в ванну с электролитом, а крупные детали погружаются в два этапа. Но этот способ имеет значительные недостатки, во первых нужны специальные сложные подвесные приспособления, во вторых рабочие ванны очень большие, в третьих электролит быстро загрязняется продуктами растворения и требует фильтрации. Кроме того крупногабаритные корпусные детали имеют сложную конфигурацию в результате, невозможно провести качественную очистку, что влияет на прочность сцепления покрытия с основой [].

В ремонтной практике наибольшее применение получил процесс восстановления деталей гальванопокрытиями в проточном электролите [].

Впервые восстановление деталей электролитическим проточным железнением разработал Мелков М.П. и Пашенных А.М. [50]. Они определили, что при обмене электролита в приэлектродном пространстве получается качественное покрытие толщиной 0,8-1,0 мм, при этом скорость осаждения равен 0,3 мм/ч. В зависимости от состава электролита и условий электролиза можно получать покрытия с микротвёрдостью 200-500 кг/мм².

Исследования Малянова В.Н. показывает, что при повышении скорости движения раствора электролита производительность проточного процесса электроосаждения увеличивается. Так как большая скорость движения раствора электролита увеличивает плотность тока. При увеличении скорости движения раствора электролита до 2 м/с выравнивают структуру электролитических покрытий, уменьшается трение и шероховатость, также улучшаются физико-механические свойства покрытия [].

При восстановлении изношенных поверхностей вневанными гальваническим способом покрытие имеет высокую твердость и износостойкость [].

1.4. Составы растворов электролитов, применяемых при гальваническом осаждении

Для восстановления деталей из железоуглеродистых сплавов некоторые исследователи использовали покрытия железа и сплавы на основе цинка: Zn-Fe, Zn-Ni, Fe-Ni [].

Исследования химиков показали, что сплав цинк-железо имеет защитные свойства металлов от коррозии. Коррозионную стойкость покрытия увеличивает легирование цинка железом. Исследование в атмосфере и ускоренными методами коррозионной стойкости двухсот стальных образцов которые были покрыты сплавом цинк-железо, показали, что цинк-железные покрытия, содержащие 30-50 и 60-70% цинка, более коррозионностойкие, чем цинковые. Для получения сплавов, у которых содержание цинка 55-70%, рекомендуется температура $T=80\text{ C}$ а плотность тока $0,21\text{ A/cm}^2$. Для получения сплава с 65-71% цинка pH электролита следует поддерживать в пределах 1,3-1,6, а для получения сплавов с 56-61% содержанием цинка pH раствора выбирается в пределах 1,6-1,8. Если изменить катодную плотность тока приблизительно на $\pm 0,05\text{ A/cm}^2$ то измениться и содержание цинка в покрытии на $\pm 5\%$. Состав растворов и режим электролиза приведены в таблице 1.2.

Покрытие цинк-железо можно осаждать из растворов, которые простые по составу при высоких выходах по току и плотности тока. При этом покрытие получается более твердое, чем цинк. Этим покрытием заменяют цинковые покрытия, до этого поверхность надо полировать до блеска. Также используется для нанесения толстых слоев после этого поверхность надо полировать, чтобы выравнивать дефекты поверхности. При содержании цинка более 30 % сплав используется под окраску. Так как сплав обладает анодной защитой стали и меньше реагирует с краской, чем цинк. Поэтому к покрытию цинк-железо проявляется большой интерес. Из

хлористых и сернокислых растворов, в состав которых входит не только соли цинка и железа, но и соли аммония, лимонная кислота (до 0,5 г/л²) и антипиттинг (типол), можно получить сплавы любого состава- от 100% Zn до 100% Fe. При увеличении рН и плотности тока в сплаве уменьшается содержание цинка. Выход по току возрастает с увеличением температуры и рН, несколько снижается с увеличением плотности тока и затем достигает постоянного значения [].

Таблица 1.2 - Растворы и условия осаждения цинк-железного покрытия

Состав раствора			Дк, А/см ²	рН	Выход по току, %	Содержание Zn в сплаве, %	Время получения покрытия толщиной, мкм / мин
Zn	Fe	Антипиттинг					
15	50	—	0,27	2,2	97	40	5
12	50	—	0,33	2,2	98	34	4
20	35	0,4	0,20	1,7	86	61	8
20	50	0,4	0,22	1,7	93	47	6
25	30	0,7	0,16	1,8	80	70	9

Результаты Кудрявцева Н.Т. с сотрудниками при исследовании электроосаждения покрытия цинк-железо не получились положительными. Полученные им покрытия не обладает повышенной коррозионной стойкостью и не отличается от чистых цинковых покрытий. По мнению Кудрявцева без органических добавок железо не оказывает заметного влияния на качество покрытия [].

Исследования [] показали, что во всех концентрациях декстрина в электролите от 0,03 до 5 г/л были получены не явно губчатые покрытия цинка с черными пятнами. При этом на катоде выделяется также водород. В

основном такое покрытие получается в производственных ваннах. Кудрявцев Н.Т. доказал, что такое явление получается при некачественном декстрине или под действием разложения его продуктов [1].

При использовании электролита с декстрином был получен осадок цинка которой содержит около 2 % железа, а при использовании электролита без декстрина железа в осадке не было обнаружено. В обоих случаях в составе электролита концентрация железа была равным 2 г/л. Таким образом, для облегчения выделения железа надо использовать в электролите декстрина. При осаждении цинка декстрин увеличивает поляризацию больше, чем при электроосаждении железа. При увеличении плотности тока до 0,03-0,04 А/см² и рН электролита до 1-2 количество железа в покрытии падает, а покрытие из цинка приобретает нормальный вид [2].

При увеличении температуры электролита ухудшается качество покрытия: в результате получается грубая структура. При электролизе необходимо непрерывно фильтровать электролит. При совместном электроосаждении цинка и железа использование декстрина ухудшает покрытие, ванны для электролиза часто портятся. Поэтому при электроосаждении цинка и железа не рекомендуется использование декстрина.

Также в некоторых трудах были исследованы процессы покрытия стали со сплавами, в которых содержание цинка составляет от 6 до 90% [3]. При этом использовался сульфатной электролит при высоком D_k и $t > 50^\circ\text{C}$. Покрытие с содержанием железа 50-70% и цинка 3-10% получилось при температуре $t=50-60^\circ\text{C}$. При низком содержании цинка покрытие имеет низкую коррозионную стойкость, и повышенную твердость. С увеличением количества цинка в покрытии коррозионная стойкость повышается, и достигается величины 60% цинка. В результате такое покрытие оказывает коррозионную защиту в 2 раза лучше, чем чистый цинк.

Был рекомендован состав электролита для получения сплава, содержание железа в котором равен от 0 до 89% [4].

1. Сульфат цинка	25,8 г/л
2. Сульфат железа	124 г/л
3. H_3BO_3	30 г/л
4. Температура	25°C
5. Плотность тока D_k	0,025-0, 10 А/см ²
6. pH электролита	2,5

Выход по току 60-95%.

При электроосаждении цинк-железа из данного состава покрытие имело мелкокристаллическое строение, были пластичными, коррозионностойкими и плотными. В результате добавление в раствор глицерина, лимонной кислоты, сахара, декстрина не влияло особо на качество покрытия.

Згирским Ч.И. было рекомендовано следующий состав раствора и режимы осаждения процесса[].

1. $ZnSO_4$	150-200 г/л
2. $FeSO_4$	80-100 г/л
3. Сульфат натрия	10-20 г/л
4. Глицерин $C_3H_5(OH)_3$	10-20 г/л
5. Серная кислота	0,005 г/л
6. Катодная плотность тока	$D_k=0,02-0,03$ А/см ² ,
7. Температура электролита	18-20°C.

При восстановлении посадочных мест электронатирием было рекомендовано следующий состав раствора и режимы процесса[]:

1. $ZnSO_4$	600 г/л
2. Двойная соль сернокислоаммониевого железа	150 г/л
3. Борная кислота	40 г/л
4. Плотность тока	1,00-2,00 А/см ²
5. Борнокислый натрий	1-5 г/л
6. pH электролита	3,5-4
7. Частота вращения катода	8-20 м/мин

Скорость электроосаждения покрытия зависит от частоты перемещения катода. Режим электролиза проходит при плотности тока $1,5 \text{ А/см}^2$, выход по току равен 67-81%, и перемещении катода 2-6 м/мин, а при увеличении скорости перемещения катода от 6 до 16 м/мин увеличивается выход по току до 81-82% и скорость осаждения.

Микротвердость покрытия равна при отношении 1:2 двойной соли сернокислоаммониевого железа и сернокислого цинка микротвердость покрытия имеет 172 кг/мм^2 , а при соотношении 1:4 микротвердость снижается и составляет 128 кг/мм^2 . сцепление составляет для чугуна СЧ-15 - 1100 кг/см^2 , для стали 45 - 1310 кг/см^2 , и для стали Ст3 - 1450 кг/см^2 .

В результате проведенного анализа литературных источников можно сделать следующие выводы:

1. Покрытия железа с цинком обладает высоким сцеплением с основой.
2. Покрытия обладают высокими защитными антикоррозийными свойствами.
3. Покрытия обладает достаточной твердостью и прочностью, необходимой для восстановления деталей машин.
4. Не проводились исследования по восстановлению методом остаивания в цинк-железным электролите.
5. Не проводились исследования физико-механических свойств железо - цинкового покрытий, применительно к восстановлению постелей коренных подшипников двигателя.

1.5 Цель и задачи исследования

Цель работы: исследование и обоснование режимов восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна методом остаивания в цинк-железном электролите. В

соответствии со состоянием вопроса и с целью работы поставлены следующие задачи исследования:

- провести экспериментальные исследования износов посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна;

- провести экспериментальные исследования по обоснованию режимов восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7 методом оставления в цинк-железном электролите на моделях;

- Определение толщины покрытия после восстановления.

- Определение микротвердости восстановленного слоя.

- Определение износостойкости восстановленного слоя.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ

2.1 Сущность предлагаемого способа восстановления

Технологический процесс осталивания состоит из трех стадий: очистка и подготовки образцов пластин к нанесению покрытия, нанесение покрытия в цинк-железном электролите и обработки деталей после нанесения покрытия.

Технологический процесс восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна следующая: механическая обработка поверхностей, промывка бензином, очистка поверхности образцов наждачной шкуркой, изолирование места деталей и приспособлений, которые не подлежат покрытию, обезжиривание деталей венской известью, промывка холодной проточной водой, декопирование в 30-процентном растворе серной кислоты, после этого промывка холодной водой, промывка — последующим прогревом горячей водой (при температуре 50—60°C), нанесение покрытия в цинк-железном электролите, промывка горячей водой (температурой 80—90°C), нейтрализация 10-процентным раствором каустической соды, промывка горячей водой (температурой 80—90° С), снятие изоляции, механическая обработка поверхности покрытия, контроль качества [].

Железнение представляет собой процесс гальванического осаждения железа из водных растворов его солей при прохождении через электролит постоянного тока низкого напряжения. В связи с тем, что получаемый осадок по своим свойствам подобен закаленной стали, процесс чаще всего называют осталиванием. Электролитическое осталивание является таким процессом электролиза, при котором при пропускании постоянного тока через водный раствор соли железа на катоде (детали) в результате разряда ионов железа осаждается слой железа. Одновременно с этим растворяется металл анодов,

посылая свои ионы в раствор взамен израсходованных на образование осадка.

Аноды при оставлении – растворимые, изготавливаются из малоуглеродистой стали, с содержанием углерода до 0,20 %. Для защиты электролита от загрязнения шламом, образующимся при растворении анодов, их изолируют чехлом из стеклянной или шерстяной ткани.

Для оставления применяются различные электролиты: сернокислые, хлористые и др. Для улучшения свойств электролита и качества покрытий в электролит рекомендуется вводить различные органические или неорганические присадки. Добавление хлористого марганца способствует получению гладких и мелкозернистых осадков. Хлористый натрий улучшает электропроводность электролита и увеличивает твердость покрытий. Гидразин и аскарбиновая кислота предохраняет электролит от окисления и способствуют получению плотных мелкозернистых покрытий [].

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

Места, которые не подлежат покрытию должны быть изолированы эмалью в 3-4 слоя. Каждый слой необходимо просушить. Для изоляции также можно использовать тонкую листовую резину или коррозионностойкие лаки.

Анодное травление производится в электролите, который состоит из железного купороса (10—15 г/л) и 30%-ного раствора серной кислоты. У электролита удельный вес должен быть 1,23. Пластины погружаются в электролит они служат катодом, а анод изготавливается из железной пластины. Продолжительность обработки составляет 0,5-3,0 мин, при этом плотность тока должно быть в пределах 35—45 а/дм². Плотность тока увеличивается с увеличением в стали углерода и поверхностной твердости.

В условиях производства для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна можно применить вне ванный метод в трех основных вариантах: методы местных ванн,

электронатира и вне ванный проточный процесс. Наиболее простой метод местных ванн заключается в том, что электролизной ванной является заполненное электролитом пространство подлежащего восстановлению отверстия.

В нашем случае в качестве образцов использовались стальные пластины. Повторность опытов нами было принято равной 5 раз. В процессе электролиза из электролита, главным образом испаряется вода, что приводит к увеличению концентрации железа, о чем судят по увеличению плотности электролита. В этом случае электролит разбавляется водой. Кислотность электролита проверяли рН-метром ЛПУ-01 или индикаторной бумагой. В процессе восстановления электролит нужно подогреть до заданной температуры. После использования электролита на 5 образцов, изготавливали новый состав с другой заданной концентрацией и тщательно очищали анод.

Определение необходимой фактической толщины покрытия:

$$h_{cp} = \frac{d_1 - d_2}{2}, \quad (2.1)$$

где d_1 - диаметр постелей коренных подшипников до осталивания, мм;

d_2 - диаметр постелей коренных подшипников осталивания, мм.

Определение фактической скорости осаждения железа;

$$v_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{t_{\phi}}, \text{ мм/ч} \quad (2.2)$$

где t_{ϕ} - фактическая продолжительность осталивания, ч.

Определение фактического выхода железа по току:

$$\eta_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{G_m}, \quad (2.3)$$

где G_{ϕ} - фактическое количество осажденного на детали железа, г;

G_m - теоретически возможное количество осажденного железа за время t_ϕ , г.

$$G_m = E \cdot J_\phi \cdot t_\phi, \text{ г} \quad (2.4)$$

где J_ϕ - фактическая сила тока (по показаниям амперметра), А.

Величина G_ϕ вычисляется по формуле:

$$G_\phi = \pi \cdot d_2 \cdot l \cdot h_\phi \cdot \gamma \cdot 10^{-3}, \text{ г.} \quad (2.5)$$

2.2 Применение асимметричного тока при осталивании

Поиски путей интенсификации и расширения технологических возможностей процесса осталивания, а также повышения качества получаемых покрытий привели в последние годы к применению асимметричного тока и внеанодного процесса при осаждении железа[].

Асимметричный периодический ток получается в результате наложения переменного тока на постоянный (выпрямленный). Схема установки для получения асимметричного тока показана на рисунке 2.1. Встречно-параллельное включение полупроводниковых вентилях В1 и В2 позволяет разделить переменный ток на составляющие: прямой (отрицательный) импульс проходит только через вентиль В1, так как вентиль В2 для него закрыт; обратный (положительный) импульс, наоборот, может проходить только через вентиль В2. При помощи реостатов R1 и R2 можно независимо регулировать эти импульсы, задавая им различные амплитуды J_m^k и J_m^a (рисунок 2.2). Отношение средних значений катодного и анодного импульса называется катодно-анодным показателем.

Величина асимметрии определяется по формуле:

$$\beta = \frac{J_c^k}{J_c^a}, \quad (2.6)$$

здесь J_c^k и J_c^a берутся по показаниям амперметров A_1 и A_2 . При прохождении катодного тока происходит осаждение железа на детали, а при прохождении анодного тока (когда деталь становится анодом) происходит электрохимическое травление (съем) осажденного металла. Интенсивность протекания этих двух противоположных процессов регулируется изменением величины β , оптимальное значение которой находится в пределах 6...10. Кроме того, можно обеспечить высокую прочность сцепления покрытий и повысить допустимую среднюю плотность тока прямого импульса до $0,60 \div 0,80 \text{ А/м}^2$.

Применение асимметричного периодического тока позволяет путем изменения величины β управлять свойствами гальванических осадков железа (износостойкостью, микротвердостью, внутренними напряжениями, усталостной прочностью), повышать прочность сцепления покрытия с деталью, а также увеличивать допустимую плотность катодного тока за счет активирования поверхности детали и растворения дендритов под воздействием обратного импульса.

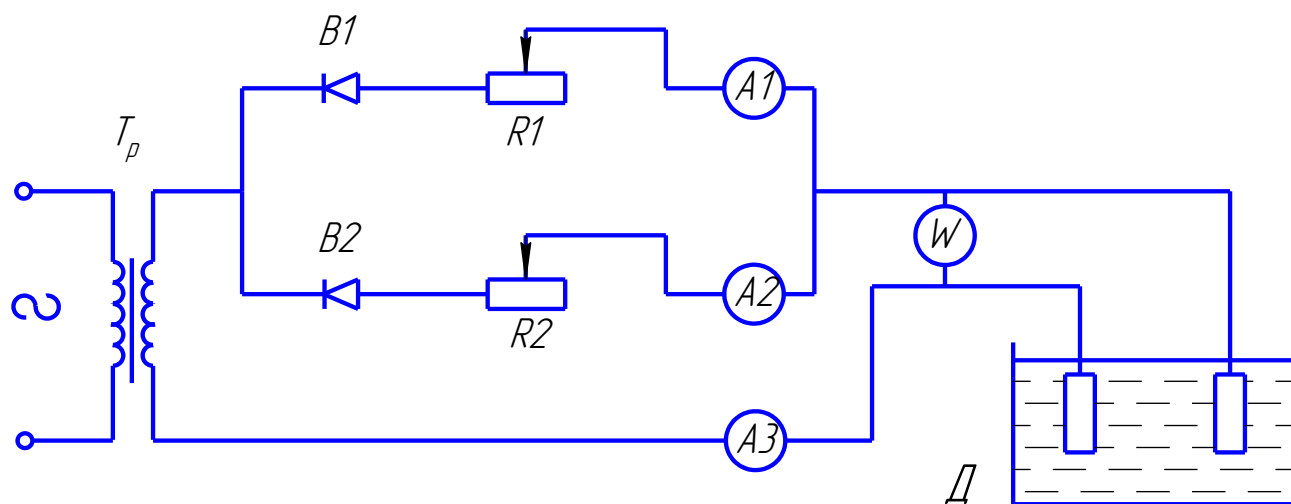


Рисунок 2.1 - Схема установки для получения асимметричного периодического тока:

T_p – понижающий трансформатор;

B_1, B_2 – полупроводниковые вентили;

R_1, R_2 – регулировочные реостаты;

A_1, A_2, A_3 – амперметры;

V_1 – вольтметр.

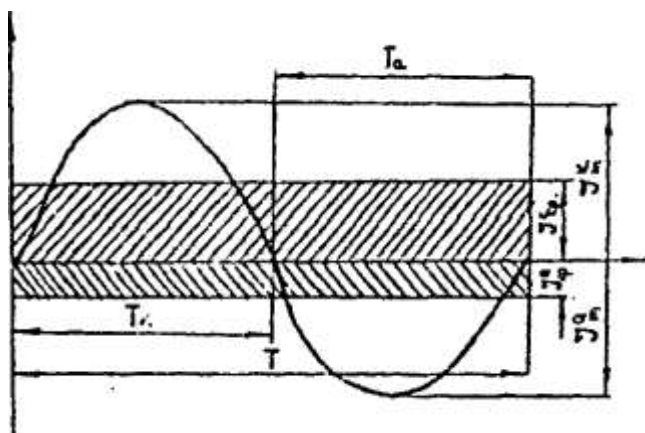


Рисунок 2.2 - Форма кривой однофазного асимметричного периодического тока:

J_m^k, J_m^a - амплитуда тока катодного и анодного импульсов;

J_c^k, J_c^a - средние значения импульсов за период T ;

T – период периодического тока.

Как известно осталивание, в большинстве случаев производится в гальванических ваннах. Так восстанавливаются клапаны, толкатели, шкворники, поворотные кулаки, пальцы рессор, валики сцепления, крестовины дифференциала, валики тормозов, валы и многие детали.

Однако, технологические возможности осталивания значительно расширяются при осуществлении вневанного процесса, который применяется для восстановления как внутренних, так и наружных поверхностей деталей сложной конфигурации, в том числе и крупногабаритных корпусных деталей. Вневанным способом восстанавливают отверстия в нижней головки шатуна посадочные поверхности под подшипники качения и оси в картерах КПП и других агрегатов, постели под вкладыши коренных подшипников коленчатого вала в блоке цилиндров двигателей, зеркала цилиндров двигателей и компрессоров, корпусов масляных насосов и т.д., а также

наружные поверхности некоторых деталей сложной конфигурации, например шейки коленчатых валов.

2.3 Теоретическое обоснование толщины наращивания

До восстановления изношенных поверхностей необходимо определить толщину наращивания. Для этого измеряется износ и соосность посадочных мест под подшипники. Также нужно определить припуск на механическую обработку. Припуском под механическую обработку следует называть слой металла, который удаляется с поверхности покрытий в процессе получения необходимых параметров детали. Припуск должен: а) компенсировать погрешности, полученные в результате наращивания изношенной поверхности детали железом; б) компенсировать погрешности, получаемые в результате выполнения рассматриваемых операций.

Толщина наращивания может быть найдена по формуле:

$$H = I + \sqrt{M_1 + M_2 + P_{уст}^2 + P_{изм}^2 + P_{сос}^2}, \quad (2.7)$$

где H – толщина наращиваемого покрытия, мм;

I – износ, мм;

M_1 – припуск на механическую обработку, черновое, мм;

M_2 – припуск на механическую обработку, чистовое, мм;

$P_{уст}$ – погрешность установки при обработке;

$P_{изм}$ – погрешность измерения;

C – соосность, мм.

Время, необходимое для осталивания определяется по следующей зависимости:

$$T = \frac{10 \cdot h \cdot \gamma}{D_A \cdot E \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

где T – время осталивания;

h – толщина необходимого покрытия;

η – выход железа по току;

γ - 7,8 г/см³ плотность железного покрытия, мм;

E - 1,042 г/Ач электрохимический эквивалент железа;

D_A - катодная плотность тока.

Скорость осаждения железа вычисляется из выражения:

$$g_{\phi} = \frac{h}{T}, \text{мм/ч} \quad (2.9)$$

где g_{ϕ} - скорость осаждения;

h - толщина покрытия;

T - время осталивания.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Разработанная программа исследований включает в себя исследования микротвердости, а также исследования размера толщины осажденного слоя и его износостойкости. Для измерения внутренних поверхностей восстановленных посадочных мест под подшипники используются индикаторы внутромеры соответствующего диапазона измерения. Измерения твердости опытных образцов гальванопокрытий осуществляется при помощи твердомера ТК-2М. также образцы устанавливались на машину трения 77МТ-1. Образцы подвергались ресурсной обработке. Для определения величины осажденного металла на поверхность образцов использовались специальные точные весы AND HR – 200.

В результате математической обработки получены математические модели, характеризующие зависимость качественных показателей отверстий коренных опор от различных факторов; режимов восстановления. При проведении лабораторных исследований использовались также разработанные на кафедре «Эксплуатации и ремонта машин» средства измерения.

Программой исследований предусмотрено

- провести исследования износов посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна;
- провести экспериментальные исследования способов нанесения гальванических цинк-железных покрытий методом остаивания и определение их физико-механических свойств;
- теоретическое обоснование толщины наращивания;

- провести исследование влияния содержания сульфата цинка, сульфата железа, серной кислоты и температуры электролита на толщину покрытия;

- провести исследования влияния содержания сульфата цинка, сульфата железа, серной кислоты и температуры электролита на микротвердость покрытия;

- провести исследования влияния содержания сульфата цинка, сульфата железа, серной кислоты и температуры электролита на износостойкость покрытия.

3.2 Общая методика исследований

Нами были проведены экспериментальные исследования для получения покрытий в цинк-железном электролите, для восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна гальваническими покрытиями использовали метод восстановления осталивания.

Аноды при осталивании – растворимые, изготовили 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[].

Для реализации технологического процесса осталивания необходимо осуществить следующие стадии производственного процесса:

- 1) растачивание восстанавливаемой поверхности до выведения следов износа;
- 2) тщательная очистка и обезжиривание поверхности;
- 3) изоляция слоев не подлежащих обработке;
- 4) монтаж деталей в специальные приспособления;
- 5) обработка поверхности специальной известью;
- 6) тщательная промывка поверхности;

- 7) декапирование;
- 8) контроль результатов декапирования;
- 9) реализация самого процесса осталивания;
- 10) очистка поверхностей;
- 11) контроль поверхностей;
- 12) просушивание поверхностей;
- 13) демонтаж деталей.

Монтаж деталей на рабочем столе осуществляется со всеми мерами техники безопасности. На рисунке 3.1 показан монтаж корпусной детали для вневанного осталивания.



Рисунок 3.1 Процесс проведения экспериментов

Анодное травление производили в электролите, который состоит из сульфата цинка и сульфата железа, также в не больших количествах добавляется серная кислота, борная кислота, аммоний сульфат. У электролита удельный вес должен быть 1,23. Пластины погружаем в электролит, они служат катодом, а анод изготавливаем из железа (рисунок 3.1). Для каждого эксперимента изготавливаем новый электролит. Продолжительность обработки составляет 0,5-3,0 мин, при этом плотность

тока должно быть $0,40 \text{ А/см}^2$. Плотность тока увеличивается с увеличением в стали углерода и поверхностной твердости[].

3.3 Методика определения микротвердости покрытия

Испытания на микротвердость покрытий полученных методом осталивания в цинк-железном электролите проводили микротвердомером ТК 2М. В процессе определения твердости осуществляется вдавливание наконечника контролируемой поверхности. Форма наконечника бывает в виде шарика, либо пирамиды, либо конуса. По оставленному опечатку мы можем судить о величине микротвердости.

Микротвердость металла определяли прибором ТК-2М [], (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2- Твердомер ТК-2М

При испытании на микротвердость необходимо реализовать следующие операции:

- 1) Проверить и установить испытуемый образец;
- 2) Осуществить регулировку твердомера;
- 3) Осуществить процесс измерения путем создания необходимого давления на рабочий конус;
- 4) Считать показания на шкале твердомера.

Технология изготовления и состояние испытуемого образца существенно влияют на микротвердость 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.[].

Перед началом испытания приготовленный образец ставится на столик прибора ТК-2М так, чтобы образец была строго перпендикулярна к направлению перемещения алмазного конуса при вдавливании.

Испытание на приборе ТК-2М проводится следующим образом. Подвесив грузы и вставив в оправку шарик или алмаз, испытуемый 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 циферблате 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 испытуемому образцу через рычаг основную нагрузку P , величина которой зависит от величины груза, привешенного к рычагу. При этом нагружение большая стрелка перемещается по циферблату 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. 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 3.3) 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.

Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рисунок 3.3

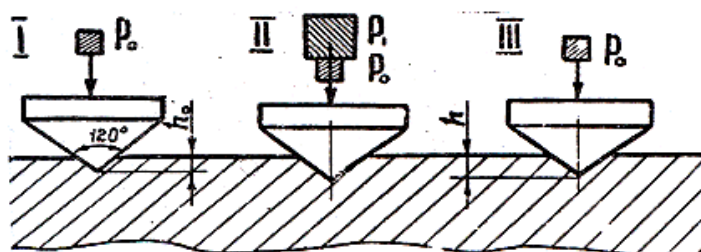


Рисунок 3.3 - Схема определения твердости по Роквеллу

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	B	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	B	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	B	25 – 100	100
60 – 240	Стальной шарик	B	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.

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

Таблица 3.2 - Техническая характеристика машины трения 77МТ-1

Характеристики	Показатели
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.
Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению	- ± 30%
Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика	- ± 3 %
Потребляемая мощность не более	- 1,3 кВт
Напряжение переменного тока трехфазной силовой цепи	- 380 В
Частота переменного тока силовой цепи	- 50 Гц
Габаритные размеры: длина	- 910 мм
Ширина	- 410 мм

Высота	- 860 мм
Максимальная масса машин	- 190 кг

Таким образом, образцы совершают относительное возвратно-поступательное движение, скорость которого регулируется изменением частоты вращения электродвигателя посредством ручки регулятора.

Нагрузка на испытуемые образцы обеспечивается нагружающим устройством, который состоит из навески с гирями, которое через рычаг и пружину давят на стакан, прижимая неподвижный образец к подвижному 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 3.4 - Машина трения при испытание образца.

Испытание на износостойкость производились в течение 30 минут. На рисунке 3.4 показано процесс испытания образцов. Время испытания замеряли с точностью до секунды. В процессе испытания трижды замеряли частоту двойных ходов тележки в минуту и при необходимости корректировали частоту двойных ходов путем регулирования частоты вращения двигателя посредством ручки.

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

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 производят 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 %.

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. Для взвешивания образцов использовали аналитические весы AND HR – 200 рисунок 3.5. Техническая характеристика аналитической весы AND HR – 200 представлен в таблице 3.3



Рисунок 3.5 - Аналитические весы AND HR – 200

Таблица 3.3 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)	E2
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 Обработка экспериментальных данных и оценка точности измерений

Оценка погрешности результатов измерений регламентируется стандартом ГОСТ 8.207–76.

При измерении величин нами были применены приборы, которые обеспечивают наибольшую точность измерений. Все приборы перед началом измерений тщательно тарировали и настроили. Измеряемые параметры замерялись в необходимом количестве и определенной последовательности. Во время испытаний контролировали факторы, которые влияют на результат испытаний и исключили систематические погрешности.

Графики построены по средним величинам опытных данных.

Для этого вычисляем среднее арифметическое значения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.9)$$

где x_i - результат при i -ом измерении;
 n - количество проведенных измерений;
 $\bar{x}$ - среднее арифметическое значения.

Далее вычисляем среднюю квадратическую ошибку. Средняя квадратическая ошибка вычисляется, чтобы учесть отклонения $\bar{x}$ от искомого значения.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}^2}{n-1}}, \quad (3.10)$$

где σ - средняя квадратическая ошибка;
 x_i - результат при i -ом измерении;
 n - количество проведенных измерений;
 $\bar{x}$ - среднее арифметическое значения.

Средняя квадратическая погрешность является числовой характеристикой качества совокупности измерений, для которых она вычислена или задана. Чем выше σ , тем хуже получается качество измерений. Если есть результаты измерений, которые содержат промахи, то их нужно отбросить.

Среднее квадратическое отклонение результата измерения вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}^2}{n(n-1)}}, \quad (3.11)$$

где σ - средняя квадратическая ошибка;
 x_i - результат при i -ом измерении;
 n - количество проведенных измерений;

$\bar{X}$ - среднее арифметическое значения.

Случайная составляющая погрешности результата измерения ε (без учета знака) определяется по формуле:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma \bar{X} , \quad (3.12)$$

где t - коэффициент Стьюдента.

В зависимости от числа результатов наблюдений и принятой доверительной вероятности определяется значения коэффициента Стьюдента на таблице .

При проведении технических измерений доверительная вероятность принимается равным $P = 0,95$, а при проведении метрологических измерений $P = 0,99$.

Вычисляем неисключенную систематическую погрешность Θ результата измерения. В качестве Θ принимаются пределы допускаемых дополнительных и основных погрешностей средств измерений.

Неисключенная систематическая погрешность определяется по формуле:

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_j^2} , \quad (3.13)$$

где θ_j^2 –неисключенная j - я систематическая погрешность (НСП);

m – сумма чисел НСП;

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом слагаемых m .

Суммарное среднее квадратическое отклонение (абсолютная погрешность) определяется так:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma^2 \bar{X} + \sigma^2 \theta} , \quad (3.14)$$

Величина, σ_{Σ} определенная по формуле является абсолютной погрешностью. Очевидно, что при измерении некоторой большой величины

при одном и том же значении σ_{Σ} результат может оказаться достаточно точным, тогда как при измерении малой величины его точность будет недостаточной.

Поэтому принимается и относительная погрешность, которая определяется как;

$$\delta = \frac{\sigma_{\Sigma}}{\bar{x}}, \quad (3.15)$$

Относительная погрешность выражается в процентах.

3.7 Определение необходимого числа экспериментов

Одной из задач планирования экспериментов является определение необходимого числа опытов, которые позволяют получить достоверные результаты. Кроме этого, определения необходимого числа экспериментов дает возможность сэкономить затраты средств и времени на исследование. Эта операция выполняется по принятой (известной) методике, изложенной ниже.

Для определения необходимого число экспериментов использовали следующую формулу:

$$n = \frac{S^2_{x_i} \cdot t_p^2 \cdot m - 1 \cdot \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{2 \cdot m}}\right)^2}{J_p^2}, \quad (3.16)$$

где S_{x_i} - среднеквадратическое отклонение вариационного ряда;

m - число измерений в предварительном эксперименте, проведенных для оценки точности метода;

$t_p^2 \cdot m - 1$ - значение коэффициента Стьюдента для вероятности p при числе измерений m ;

J_p^2 - задаваемое с вероятностью p максимально допустимое отклонение среднего значения от истинного.

Среднеквадратическое отклонение вариационного ряда определяем по формуле:

$$S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \quad (3.17)$$

где $\bar{x}$ - среднее арифметическое значение параметров исследований;

x - значение параметров исследований;

n - число опытов.

После предварительных опытов мы установили среднеквадратическую отклонению вариационного ряда, который составляет 0,8366. Среднее значение микротвердости при расчете n допускается разброс параметров до 3% с достоверностью 95%. При расчете необходимое число измерений получилось 4,95. Поэтому при исследованиях расчетное число измерений принимаем равным 5.

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Исследование влияния содержания сульфата цинка в электролите на толщину покрытия

Для выявления влияния концентрации сульфата цинка в электролите, на толщину восстановленного покрытия нами были проведены эксперименты. Для этого было использовано следующий состав электролита:

- | | | |
|----|------------------|---------|
| 1. | FeSO_4 | 200 г/л |
| 2. | ZnSO_4 | 40 г/л |
| 3. | Лимонная кислота | 1,5 г/л |

При проведение опытов принято:

- | | | |
|----|--------------------------------|------------------------|
| 1. | Температура электролита | 65°C |
| 2. | рН электролита | 1,5-1,7 |
| 3. | Катодная плотность тока, D_k | 0,40 А/см ² |

Для получения достоверных результатов принято число опытов равным 5. Для исследования были изготовлены металлические пластины, которые имеют размеры 7x7 см. Эти пластины были восстановлены методом осталивания. До восстановления эти пластины имели вид, которые показаны на рисунке 4.1 , после восстановления показаны на рисунке 4.2. В последующих опытах в электролит добавляем $\text{ZnSO}_4 = 60; 80; 100$ г/л.



Рисунок 4.1- Пластины до восстановления.



Рисунок 4.2 - Пластины после восстановления.

Результаты опытов представлено в таблице 4.1. Из таблицы 4.1 можно констатировать о том, что при увеличении сульфата цинка толщина покрытия увеличивается. При увеличении концентрации $ZnSO_4$ в электролите, при прочих равных условиях, уменьшается перенапряжение ионов железа, в результате количество железа в покрытии падает. На рисунке 4.3 показан график, которой построен на опытных данных из таблицы 4.1. По графику можно констатировать, что самое большое количество железа в покрытии содержится при соотношении концентрации сульфата цинка к сульфату железа равным 0,2. Это объясняется высоким перенапряжением ионов железа, вследствие слабой концентрации ионов цинка в электролите[].

Таблица 4.1 - Влияние отношения количество сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия.

№ опыта	$ZnSO_4$	Толщина покрытий, мм
	$FeSO_4$	
1	0,2	0,519
2	0,3	0,531
3	0,4	0,593
4	0,5	0,630

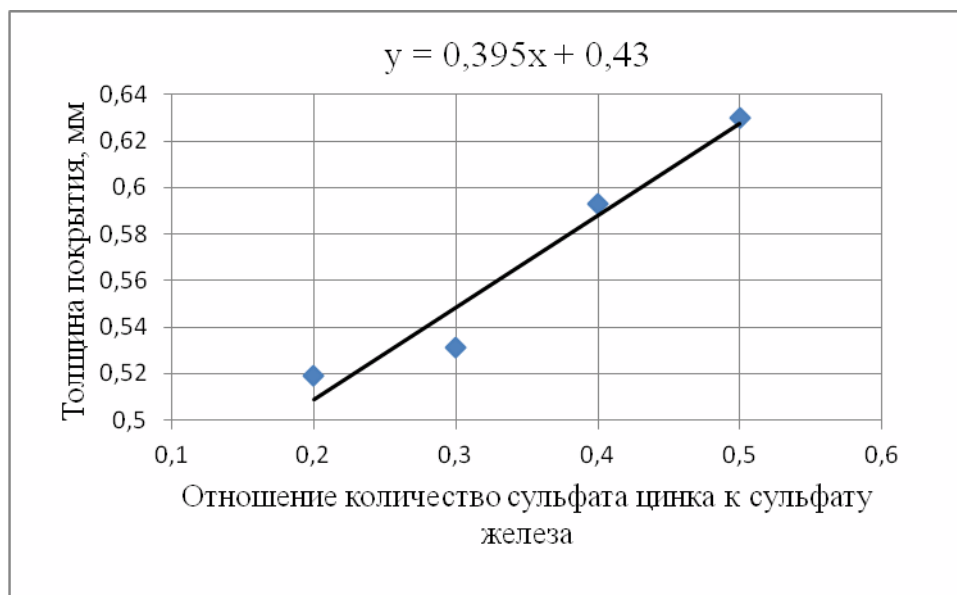


Рисунок 4.3 - Влияние отношения количество сульфата цинка к сульфату железа на толщину покрытия.

4.2 Исследование влияния содержания в электролите сульфата железа на толщину покрытия

При исследовании влияния концентрации сульфата железа (заakisное) на толщину цинк-железного покрытия была принята концентрация сульфата железа 40 г/л, в последующих опытах концентрация сульфата железа взяли в количестве 60, 80, 100 г/л, т.е.:

1. ZnSO_4 200 г/л
2. FeSO_4 - 40 г/л последующих опытах сульфат железа в принимается равным- 60, 80, 100 г/л
3. Лимонная кислота 1,5 г/л

При проведение опытов принято:

1. Температура электролита 65°C
2. pH электролита 1,5-1,7
3. Катодная плотность тока, D_k 0,40 А/см²

При увеличении в электролите сульфата железа существенно снижается скорость осаждения покрытия, это объясняется

электрохимическим эквивалентом осаждения железа которой составляет 1,04 г/А·ч, а электрохимический эквивалент осаждения цинка равен 1,22 г/А·ч. Также в результате увеличения концентрации сульфата железа в электролите изменяется pH[].

Таблица 4.2 - Влияние содержания сульфата железа в электролите на толщину покрытия

№ опыта	FeSO ₄	Толщина покрытий, мм
	ZnSO ₄	
1	0,2	0,504
2	0,3	0,517
3	0,4	0,549
4	0,5	0,548

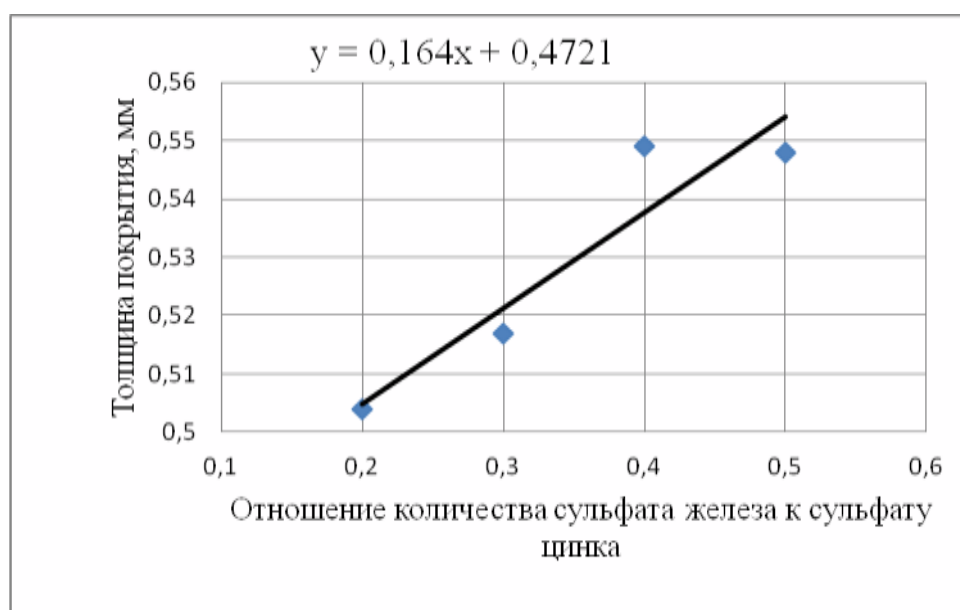


Рисунок 4.4 - Влияние отношения количество сульфата железа к сульфату цинка на толщину покрытия.

4.3 Исследование влияния содержания в электролите серной кислоты на толщину покрытия

При цинковании кислых электролитов обычно кислотность электролита используется в пределах $pH = 3,5 \dots 4,5$. Для того чтобы установить требуемого значения кислотности в некоторых случаях в электролит добавляются различные кислоты: серная, уксусная и др. Главной задачей наших экспериментов было определение концентрации серной кислоты в электролите, при котором наблюдаются оптимальные параметры микротвердости, износостойкости и толщины восстановленного покрытия.

Эксперименты проводились при следующем составе электролита.

1.	$ZnSO_4$
	200 г/л
2. $FeSO_4$	80 г/л
3.	Лимонная
я кислота	1,5 г/л

При проведении опытов принято:

4.	pH
электролита	1,5
5.	Температура электролита
	65 °C
6.	Катодная плотность тока, Дк
	0,40 А/см ²

В результате опытов установлено: что при увеличении содержания в электролите серной кислоты снижается толщина восстановленного покрытия. Увеличение концентрации серной кислоты в электролите, увеличивает содержание железа в покрытиях. Это можно объяснить высоким значением кислотности электролитов, которые способствуют увлечению перенапряжения ионов железа, чем при низших значениях кислотности ванн[].

Как показали испытания, повышение концентрации серной кислоты, изменяет кислотность в сторону увеличения ее значения. А низкая концентрация в электролите серной кислоты влечет за собой выпадение

осадка компонентов сульфата электролита, а также порче ванн. По качеству покрытие получается некачественным.

Таблица 4.3 - Влияние содержания серной кислоты в электролите на толщину покрытия

№ опыта	Содержание H_2SO_4 , г/л	Толщина покрытий, мм
1	1,2	0,465
2	1,5	0,430
3	1,6	0,425
4	1,7	0,410

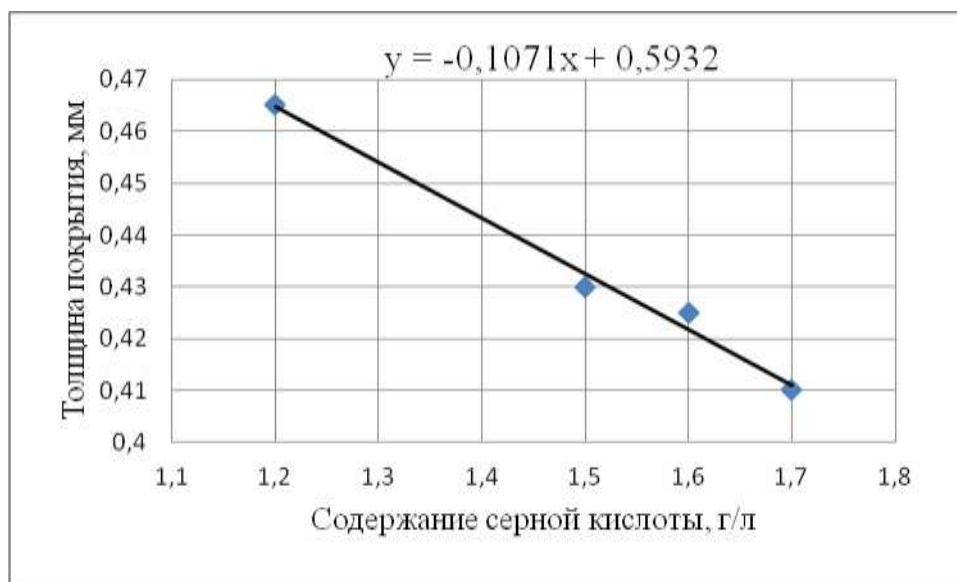


Рисунок 4.5 Влияние содержания в электролите серной кислоты на толщину покрытия.

4.4 Исследование влияния температуры электролита на толщину покрытия

Исследования проводились при следующем составе электролита.

- | | |
|---------------------|---------|
| 1. ZnSO_4 | 200 г/л |
| 2. FeSO_4 | 80 г/л |
| 3. Лимонная кислота | 1,5 г/л |

При проведении опытов принято:

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| 1. pH электролита | 1,5 |
| 2. Температура электролита | 50,60,70,80 °C |
| 3. Катодная плотность тока, Дк | 0,40 А/см |

При исследовании влияния температуры электролита толщину покрытия было установлено следующее: при увеличении температуры электролита качество покрытий ухудшается. При этом в результате бурного выделения водорода, покрытия превращается от мелкозернистых в более крупнозернистых. Также увеличивается шероховатость покрытия и поры. С увеличением температуры электролита также увеличивается выход по току и скорость осаждения железо-цинковых сплавов возрастает. Это происходит за счет увеличения диффузии к катоду. По таблице 4.4 мы видим, что при увеличении температуры электролита в процессе восстановления увеличивается толщина покрытия.

В таблице 4.4 приведены экспериментальные данные влияния температуры электролита на толщину покрытия, при прочих равных условиях.

Таблица 4.4 - Влияние температуры электролита на толщину покрытия.

№ опыта	Температура электролита, °C	Толщина покрытий, мм
---------	-----------------------------	----------------------

1	50	0,648
2	60	0,660
3	70	0,665
4	80	0,670

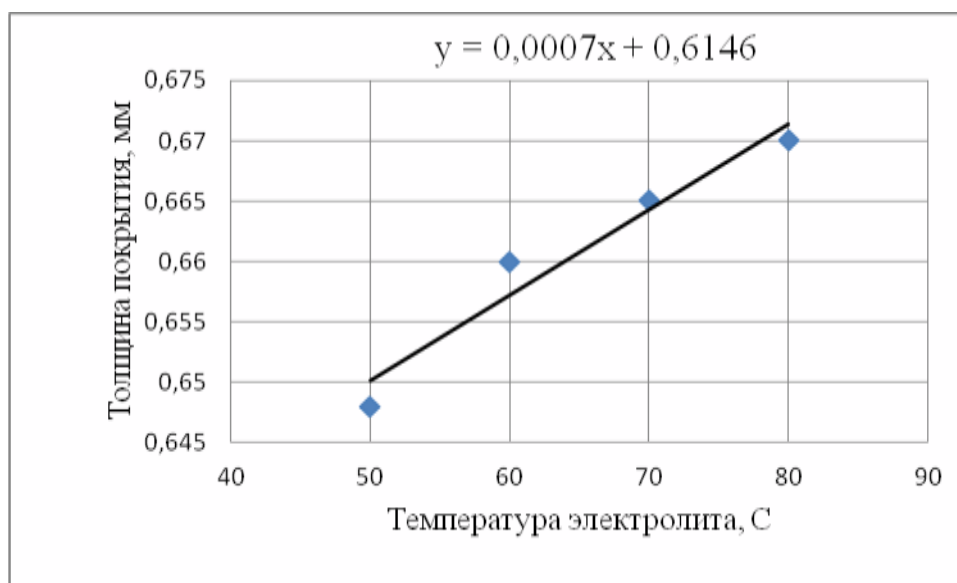


Рисунок 4.6 Влияния температуры электролита на толщину покрытия.

4.5 Влияние содержания компонентов в электролите на микротвердость покрытия

Чтобы определить пригодность цинк-железного сплава, который используется в качестве покрытия, для восстановления посадочных корпусных деталей трансмиссии комбайна, необходимо провести эксперименты микротвердости покрытия при разных концентрациях компонентов электролита. Исследования проводились при изменении количества только одного компонента в электролите и при всех равных условиях. Микротвердость покрытия который получается методом оставления в цинк-железном электролите значительно выше по сравнению с другими методами. По результатам исследования, мы можем сделать вывод

о том что микротвердость цинк-железного покрытия тесно связан с их структурой. В свою очередь структура покрытия зависит от состава ванн, от режима электролиза и механического воздействия на покрытия.

Исследования микротвердости покрытий полученных цинк-железном электролите, проводились при разных значениях отношения ZnSO_4 к FeSO_4 и наоборот FeSO_4 к ZnSO_4 , при которых количество железа в первом варианте, и количество цинка во втором, взяли постоянным в концентрации 200 г/л при прочих равных условиях. По таблице 4.5 мы можем сделать вывод о том что, при увеличении концентрации FeSO_4 в электролите микротвердость покрытий уменьшается[].

В таблице 4.5 приведены экспериментальные данные влияние FeSO_4 в электролите на микротвердость покрытия, при равных прочих условиях.

Таблица 4.5 - Влияние отношения количества сульфату железа к сульфата цинка на микротвердость покрытий

№ опыта	FeSO_4	Микротвердость, Па, 10^6
	ZnSO_4	
1	0,2	2279,4
2	0,3	2530,2
3	0,4	2718,4
4	0,5	2725

По таблице 4.5 можно констатировать, что с уменьшением содержания железа в покрытии уменьшается микротвердость, по прямолинейной зависимости между концентрацией соли цинка в электролите и микротвердости покрытия не наблюдается. На микротвердость покрытия большое влияние оказывают условия образования структуры покрытия. Самая высокая микротвердость наблюдается при соотношении FeSO_4 : $\text{ZnSO}_4=80$ г/л:200 г/л равен $H_M = 2725 \cdot 10^6$ Па.

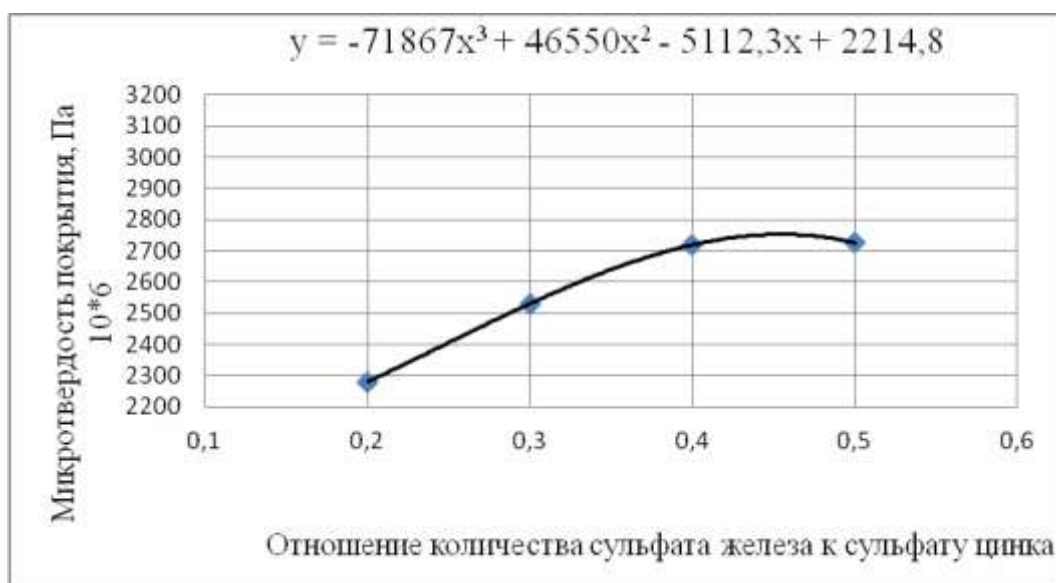


Рисунок 4.7 - Влияние отношения количества сульфата железа к сульфату цинка на микротвердость покрытий.

В таблице 4.6 показаны результаты исследования влияния концентрации FeSO_4 к ZnSO_4 , количества FeSO_4 , при равных прочих условиях. С повышением концентрации ZnSO_4 в электролите значительно увеличивается микротвердость цинк-железного покрытия.

Таблица 4.6 - Влияние количества сульфата цинка в электролите на микротвердость покрытий.

№ опыта	ZnSO_4	Микротвердость, Па, 10^6
	FeSO_4	
1.	0,2	666,4
2.	0,3	754,6
3.	0,4	901,6
4.	0,5	1136,8

С повышением содержания цинка в покрытии, которой вызывает увеличение концентрации ZnSO_4 в электролите, при равных прочих условиях процесса осаждения покрытий, микротвердость увеличивается. Однако увеличение микротвердости связано с увеличением процента содержания цинка в покрытиях, как и их микроструктурой.

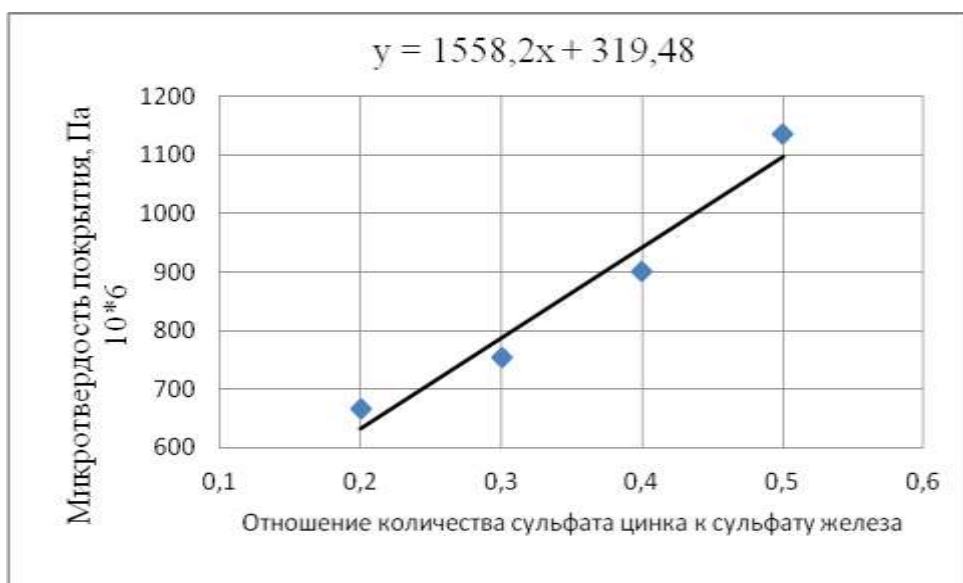


Рисунок 4.8 - Влияние отношения количества сульфата цинка к железу сульфату на микротвердость покрытий.

При повышении содержания в электролите серной кислоты, при равных прочих условиях процесса электролиза, микротвердость цинк-железного покрытия увеличивается. Экспериментальные данные приведены в таблице 4.7.

Изменение микротвердости цинк-железного покрытия не только зависит от повышения содержания в электролите серной кислоты, а также от условия протекания процесса электролиза[].

Таблица 4.7 - Влияние содержания серной кислоты в электролите на толщину покрытия

№ опыта	Содержание H_2SO_4 , г/л	Микротвердость, Па, 10^6
1	1,2	1127
2	1,5	1196
3	1,6	1235
4	1,7	1264

Температура электролита при электролизе влияет микротвердость покрытия. В таблице 4.8 приведены результаты исследований влияния температуры на микротвердость цинк-железных покрытий.

Таблица 4.8 - Влияние температуры электролита на микротвердость покрытия

№ опыта	Температура электролита, °С	Микротвердость, Па, 10^6
1	50	1185
2	60	1146
3	70	1078
4	80	990

По таблице 4.8 можно констатировать о том, что при повышении температуры микротвердость покрытия уменьшается. Но уменьшение микротвердости незначительное. Это говорит о том, что при равных прочих условиях электролиза увеличение температуры способствует образованию мягких покрытий, вследствие незначительного наводораживания покрытия.

4.6 Влияние содержания компонентов в электролите на износостойкость покрытия

Чтобы определить пригодность цинк-железного сплава, которой используется в качестве покрытия, для восстановления посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна, необходимо провести эксперименты износостойкости покрытия при разных концентрациях компонентов электролита. Исследования проводились при изменении количества только одного компонента в электролите и при всех равных условиях. Износостойкость покрытия, который получается методом оставления в цинк-железном электролите, значительно выше по сравнению с другими методами. По результатам исследования, мы можем констатировать о том, что износостойкость цинк-железного покрытия тесно

связан с их структурой. В свою очередь структура покрытия зависит от состава ванн, от механического воздействия на покрытие и режима электролиза.

Исследования износостойкости покрытий полученных в цинк-железным электролите, проводились при разных значениях отношения ZnSO_4 к FeSO_4 и наоборот FeSO_4 к ZnSO_4 , при которых количество железа в первом варианте, и количество цинка во втором, взяли постоянным в концентрации 200 г/л при прочих равных условиях. По таблице 4.9 мы можем сделать вывод о том, что при увеличении концентрации ZnSO_4 в электролите скорость изнашивания покрытия уменьшается.

По таблице 4.9 можем сделать вывод, а том, что при увеличении сульфата железа износ пластин увеличивается. Так как износостойкость зависит от микротвердости покрытия, чем выше микротвердость покрытия, чем меньше износ покрытия. Также увеличивается скорость изнашивания пластин. Из рисунка 4.9, построенном на опытных данных, которой приведен в таблице 4.9, видно, что при отношении концентрации сульфата железу к сульфату цинка равным 0,4 скорость изнашивания составляет 4,7 мг/ч. А самая высокая скорость изнашивания наблюдается при соотношении концентрации сульфата железа к сульфату цинка равным 0,5 и равен 4,6 мг/ч.

Таблица 4.9 - Влияние отношения количество сульфата железа к сульфату цинка на скорость изнашивания покрытия.

№ опыта	FeSO_4	Износ пластин, мг	Скорость изнашивания, мг/ч
	ZnSO_4		
1	0,2	1,1	5,9
2	0,3	0,9	5
3	0,4	0,8	4,7
4	0,5	0,82	4,6

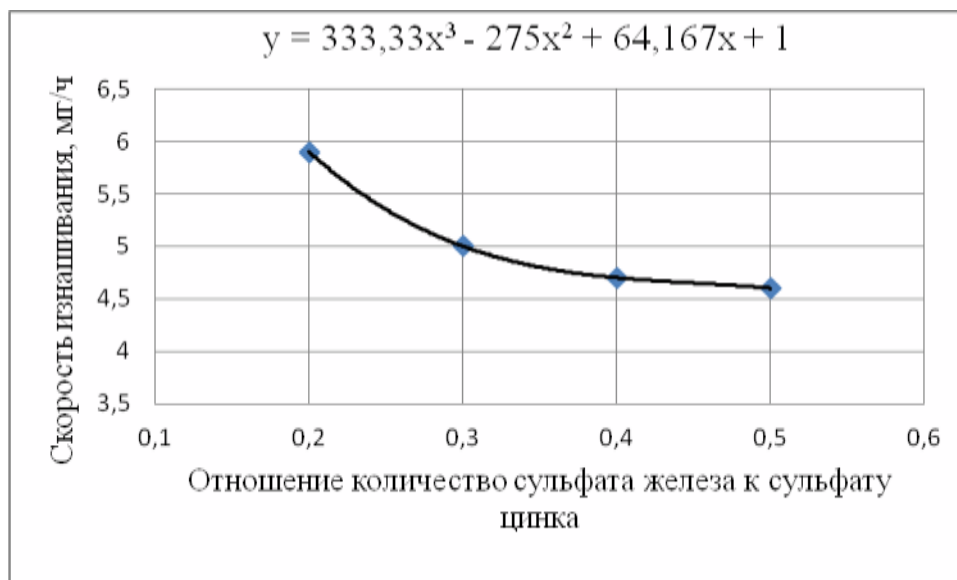


Рисунок 4.9 - Влияние отношения количество сульфата железа к сульфату цинка на скорость изнашивания покрытия.

Для исследования влияния концентрации сульфата цинка на износостойкость цинк-железного покрытия была принята концентрация сульфата цинка 40 г/л, в последующих опытах концентрация сульфата цинка взяли в количестве 60, 80, 100 г/л, т.е.:

1. FeSO_4
200 г/л

ZnSO_4 - 40 г/л последующих опытах сульфат железа в принимается равным- 60, 80, 100 г/л

2. Лимон
ная кислота 1,5 г/л

При проведение опытов принято:

1. Катод
ная плотность тока, Дк 0,40 А/см²

2. Кислот
ность электролита рН 1,5

3. Темпе
ратура электролита 65 °С.

Увеличение сульфата цинка в электролите оказывает влияние на снижение скорости осаждения покрытия, т.к. электрохимический эквивалент осаждения железа составляет 1,04 г/А·ч, а электрохимический эквивалент цинка равен 1,22 г/А·ч. Повышение концентрации сульфата цинка в электролите также влечет за собой изменение pH.

Таблица 4.10 - Влияние отношения количество сульфата цинка к сульфату железа на скорость изнашивания покрытия.

№ опыта	ZnSO ₄	Износ пластин, мг	Скорость изнашивания, мг/ч
	FeSO ₄		
1	0,2	2,1	10,5
2	0,3	2	10
3	0,4	1,8	9
4	0,5	1,7	8,5

По таблице 4.10 можем сделать вывод, а том, что при увеличении сульфата цинка износ пластин уменьшается. Так как износостойкость зависит от микротвердости покрытия, чем ниже микротвердость покрытия, чем больше износ покрытия. Также уменьшается скорость изнашивания пластин. Из рисунка 4.10, построенном на опытных данных, приведенных в таблице 4.10, видно, что при отношении концентрации сульфата железу к сульфату цинка равным 0,2 скорость изнашивание составляет 10,5 мг/ч. А самая медленная скорость изнашивания наблюдается при отношении концентрации сульфата цинка к сульфату железу равным 0,5 и равен 8,5 мг/ч.

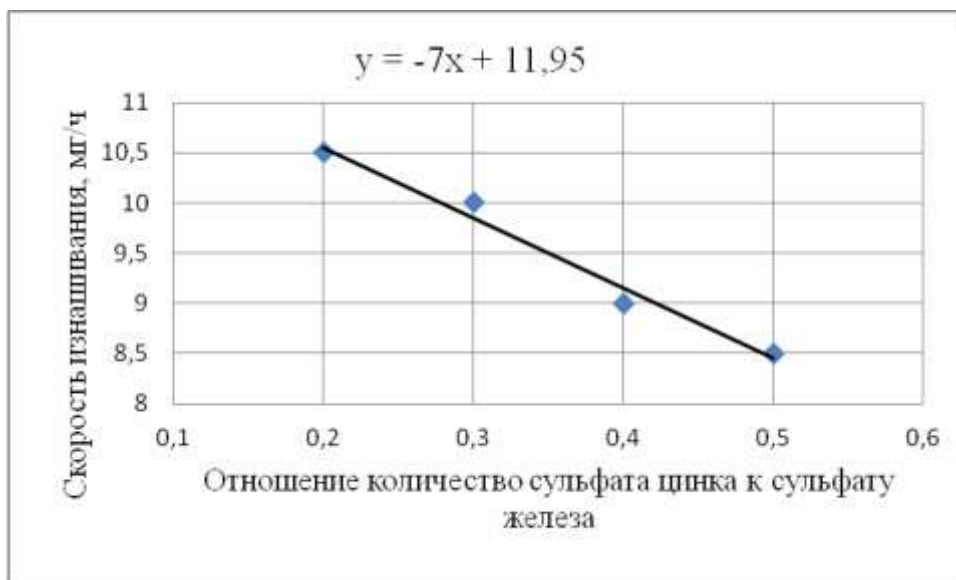


Рисунок 4.10 Влияние отношения количества сульфата цинка к сульфату железа на скорость изнашиваний покрытий.

По таблице 4.11 можем сделать вывод, а том, что при увеличении серной кислоты износ пластин уменьшается. Так как износостойкость зависит от микротвердости покрытия, чем выше микротвердость покрытия, чем меньше износ покрытия. Также увеличивается скорость изнашивания пластин. Из рисунка 4.11, построенном на опытных данных, приведенных в таблице 4.11, видно, самая высокая скорость изнашивания наблюдается при концентрации серной кислоты равным 1,2 г/л и составляет 8,5 мг/ч. А самая маленькая скорость изнашивания наблюдается при концентрации серной кислоты 1,7 г/л и равен 5 мг/ч.

Таблица 4.11 Влияние содержания серной кислоты на скорость изнашивания покрытия.

№ опыта	Содержание H_2SO_4 , г/л	Износ пластин, мг	Скорость изнашивания, мг/ч
1	1,2	1,7	8,5
2	1,5	1,5	7,5
3	1,6	1,3	6,5
4	1,7	1,0	5

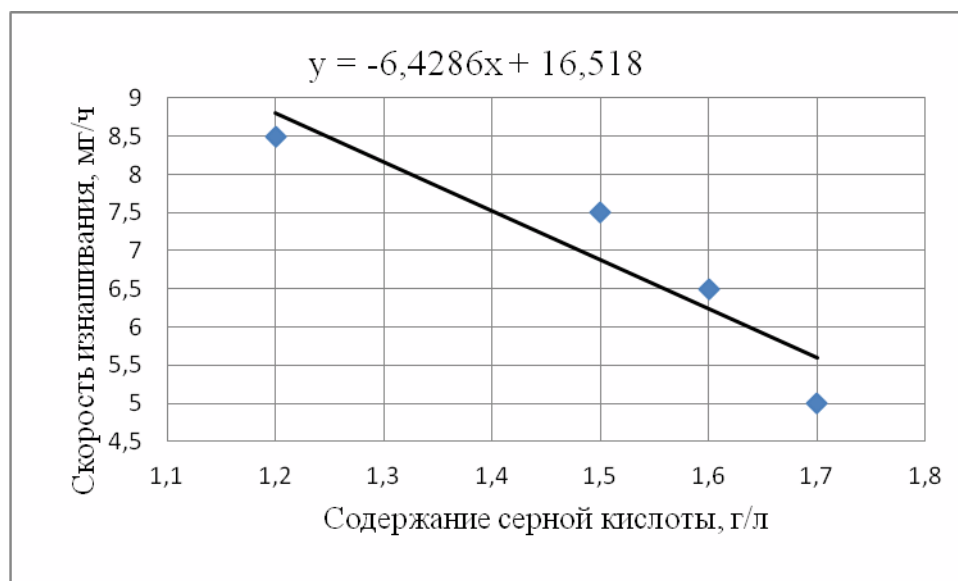


Рисунок 4.11 Влияние содержания серной кислоты на скорость изнашиваний покрытий.

В таблице 4.12 приводятся данные по износу пластин и скорости изнашивания цинк-железных покрытий в зависимости от температуры электролита. При равных прочих условиях электролиза увеличение температуры способствует образованию мягких покрытий, вследствие незначительного наводораживания покрытия. Температура электролита изменяет микротвердость покрытия, с повышением температуры снижается микротвердость, в результате износ пластин и скорость изнашивания увеличивается.

Таблица 4.12 - Влияние температуры электролита на скорость изнашивания покрытия.

№ опыта	Температура электролита,С	Износ пластин,мг	Скорость изнашивания,мг/ч
1	50	1,5	7,5
2	60	1,6	8
3	70	1,7	8,5
4	80	1,9	9,5

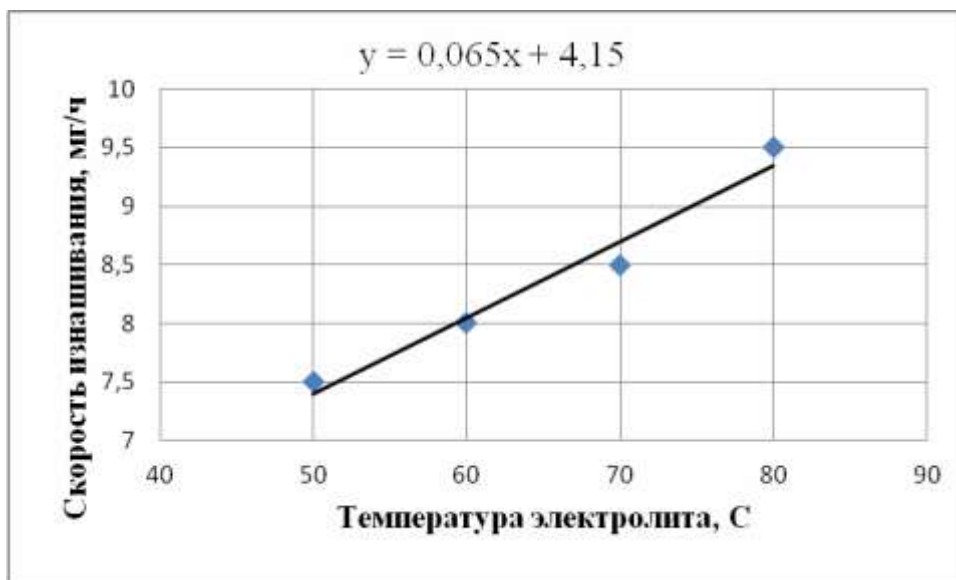


Рисунок 4.12 Влияние температуры электролита на скорость изнашивания покрытия.

Вывод. Проведены экспериментальные исследования электролитического осаждения покрытий методом осталивания в цинк-железном электролите, как наиболее приемлемых для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна. По результатам лабораторных испытаний можно сделать вывод о том, что покрытие, полученные методом осталивания в цинк-железном электролите получают хорошими по механическим свойствам и внешнему виду. При изменении соотношения компонентов в электролите в широких пределах влияют на механические свойства покрытия. При восстановлении посадочных мест под подшипники основным критерием является износостойкость, самая низкая скорость изнашивания наблюдается при содержании в электролите $\text{ZnSO}_4=200$ г/л, $\text{FeSO}_4=80$ г/л и составляет 4 мг/ч. Также при таком составе электролита наблюдается самая высокая микротвердость покрытия $3018,4 \text{ Па} \cdot 10^6$. После экспериментов определили количество H_2SO_4 в электролите, который равен 1,7 мг/ч при этом микротвердость покрытия составляет $1264 \text{ Па} \cdot 10^6$. По опытным данным температуру электролита необходимо

поддерживать в пределах 60°C, увеличение температуры приводит к снижению микротвердости и увеличению скорости изнашивания.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

5.1 Технологические операции восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

Технологический процесс восстановления изношенных посадочных мест корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7 методом остаивания в цинк-железном электролите включает 3 операции:

1. Подготовительная операция.
2. Нанесение покрытия.
3. Обработка детали после восстановления.

Очистка детали перед нанесением покрытий. Восстанавливаемая деталь очищается от загрязнений с помощью технических моющих средств и органических растворителей. Перед началом работы деталь многократно промывают холодной и горячей водой.

Механическая обработка детали. Для удаления следов износа (конусности, овальности) поверхности покрываемой детали проводится механическая обработка. Предварительная механическая обработка проводится перед началом процесса восстановления для придания детали правильной геометрической формы. Это дает возможность нанесения по всей площади поверхности равномерную толщину покрытия. Механическая обработка так же улучшает условия прочного сцепления нанесенного покрытия с основой. При незначительном износе поверхности детали обработку следует произвести шлифовальной шкуркой. Шероховатость после обработки должна быть R_a 0,63-1,25 мкм. На деталях острые кромки нужно снимать, это предотвращает наращивание дендритов. Но если вышеперечисленные дефекты отсутствуют в восстанавливаемой детали то механическую обработку исключают из технологического процесса[].

Обезжиривание детали. До нанесения покрытия необходимо удалять жировые загрязнения с поверхности детали. Обезжиривание можно проводить хлорсодержащими углеводородами (трихлорэтилен, дихлорэтан); щелочными растворами (электрохимическим или химическим способом); электрохимическим обезжириванием. Наиболее эффективным считается электрохимическое обезжиривание. Сущность этого способа состоит в том, что применяется обратная полярность и на поверхности электрода начинают выделяться пузырьки газа, это облегчает эмульгирование масел и жиров.

Состав раствора и режим обезжиривания:

1. Каустическая сода 30-60 г/л;
2. Тринатрий фосфат 10-15 г/л;
3. Кальцинированная сода 40-60 г/л;
4. Жидкое стекло 3-5 г/л;
5. Плотность тока 0,03-0,1 А/см²;
6. Температура 60-80 С.

После процесса обезжиривания деталь тщательно промывается горячей и холодной водой.

Установка приспособления на восстанавливаемую деталь. Корпусные детали трансмиссии комбайна устанавливают на твердую поверхность. Затем на посадочные места под подшипники с двух сторон с уплотнительными прокладками устанавливают стакан и крепят их шпильками. Заливают в стакан цинк-железный электролит, необходимо обратить внимание, чтоб сливной кран был закрыт. Устанавливают крышку с анодом, если деталь имеет конусность, то крышку необходимо смещать в сторону большего износа. Если анод установлен ближе к какой-нибудь стороны детали, то на этой стороне покрытия отлагается толще, чем удаленная сторона. После этого подводят кабели катодной ток к детали, а анодный на анод[].

Декапирование. Для того чтобы покрытие прочно сцеплялось с основой необходимо удалять с поверхности детали окиси металла. При декапировании необходимо поменять полярность тока. Этот процесс проводится в рабочем электролите с плотностью тока $D_k=0,70-0,80 \text{ А/см}^2$, и длится около 15-45 с.

Нанесение цинк-железных покрытий. После декапирования устанавливают прямую полярность и проводят нанесение покрытия.

Для восстановление посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна Полесье КЗС-7 рекомендуется следующий состав электролита:

- | | | |
|----|--------------------------------|---------|
| 1. | ZnSO ₄ | 200 г/л |
| 2. | FeSO ₄ | 80 г/л |
| 3. | H ₂ SO ₄ | 1,7 г/л |
| 4. | Борная кислота | 15 г/л |
| 5. | Аммоний сульфат | 85 г/л |

Режим электролиза:

- | | | |
|----|-----------------------------|------------------------|
| 1. | Кислотность pH | 1,5-1,7 |
| 2. | Температура электролита | 60 °С |
| 3. | Плотность тока | 0,40 А/см ² |
| 4. | Анод цинковый, растворимый. | |

В процессе восстановления анод тщательно нужно очищать от загрязнений. Во время электролиза состав электролита меняется и необходимо сохранять состав компонентов. Периодически проверяется кислотность электролита индикаторной бумагой «Рифан» и при необходимости корректируется.

Те места детали, которые соприкасались с электролитом необходимо промыть проточной горячей водой, т. к. в парах металла может сохраняться остатки электролита. После этого, деталь в течение 10 минут при 60⁰С промывается 10 %ном растворе каустической соды. Затем деталь промывается горячей водой. После вышеперечисленных процессов снимается крышка с анодом и стакан.

После демонтажа приспособления проверяется качество покрытия. В производственных условиях проверка качества покрытия производится следующим образом:

1. Внешний осмотр поверхности;
2. Определение микротвердости покрытия эталонным приспособлением;
3. Замер размеров посадочных мест под подшипники;
4. Технологические пробы.

Если восстановленная поверхность детали имеют дефекты или низкое качество то покрытие удаляется механической обработкой. Детали, имеющие высокое качество и толщину покрытия с припуском поступают в механическую обработку.

5.2 Восстановление посадочных мест под подшипники в корпусных деталях трансмиссии комбайна на производстве

При восстановлении посадочных мест под подшипники все операции проводятся в определенной технологической последовательности. Корпусные детали трансмиссии комбайна тщательно промывают горячей

водой и обезжиривают. Поверхность, которая восстанавливается, очищают от нагара и отложений, при необходимости проводят расточку.

Корпусные детали трансмиссии комбайна устанавливаются на монтажном столе. Заполнять электролитом нужно только те места, которые необходимо восстанавливать (в нашем случае посадочные места под подшипники), для этого мы используем стакан. Стакан состоит из двух одинаковых частей, которые соединяются шпильками. На дне стакана, для слива электролита, имеется сливной кран. Для герметизации наращиваемой поверхности постелей коренных опор используются уплотнительные прокладки. Для снижения испарения электролита, а также для удерживания анода используется крышка. В процессе электролиза электролит необходимо все время обновить, для этого используются ванна с электролитом. Через патрубок электролит самотеком подается в стакан. После окончания процесса электролита закрывается кран.

Для питания используется селеновый выпрямитель ВСА – 5 с напряжением 6-12 В и силой тока до 200 А.

Анод нужно изготавливать из цельного куска железа.

В процессе восстановления в электролит может попадать анодный шлак, поэтому анод нужно тщательно зачехлять. После каждого эксперимента снимают чехол, очищают и промывают анод от шлама. Во время опыта электролит необходимо подогревать до заданной температуры.

Электролит готовится в обычной воде подогретой до 90 °С, путем растворением компонентов. После этого раствор нужно фильтровать через фильтровальную бумагу и добавлять серную кислоту до требуемых значений pH. В течение всего опыта проверяется кислотность электролита и при необходимости корректируется.

ГЛАВА 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ КОМБАЙНА ПОЛЕСЬЕ КЗС-7

Экономическая эффективность при восстановлении посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна определяем на основе сравнения основных показателей предлагаемых и существующих вариантов. В качестве существующей принимаем восстановление методом хромирования. Все расчеты выполнили с учетом цен на март 2018 года. В нашем случае внедрение новых технологий осуществлялось на основе имеющихся оборудования и зданий. Балансовая стоимость оборудования 90000 рублей, а здания цеха 600000 рублей.

При определении экономической эффективности восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна рассчитываются следующие показатели[]:

- а) производственные затраты;
- б) производительность труда;
- в) приведенные затраты ($\Pi_{\text{зат}}$);

г) себестоимость единицы покрытия.

В свою очередь производственные затраты включает:

- а) стоимость материалов для восстановления ($C_{\text{МАТ}}$);
- б) заработная плата с отчислениями в единый социальный налог ($З_{\text{пл}}$);
- в) амортизационные отчисления ванн ($A_{\text{отч}}$);
- г) стоимость электроэнергии ($C_{\text{эл}}$);
- д) цеховые расходы ($P_{\text{цех}}$);
- е) затраты на ремонт ванн ($P_{\text{в}}$).

6.1 Расчет себестоимости ремонта изделия

Себестоимость ремонта-технических работ определяется по формуле:

$$S_{\text{ТОР}} = \frac{C_{\text{зп.п}} + C_{\text{з.ч}} + C_{\text{р.м}} + C_{\text{кооп}} + C_{\text{о.н.р.}}}{N_{\text{рто}}}, \quad (6.1)$$

где $C_{\text{з.ч}}$ и $C_{\text{р.м}}$ - нормативные (фактические) затраты на ремонтные материалы и на запасные части, руб.;

$C_{\text{зп.п}}$ - полная заработная плата производственных рабочих, руб.;

$C_{\text{о.н.р.}}$ - стоимость общепроизводственных накладных расходов, руб.;

$C_{\text{кооп}}$ - затраты на оплату изделий, поступивших в порядке кооперации, руб..

$$S_{\text{ТОР}} = \frac{3463,6 + 4710,5 + 1731,8 + 519,5 + 3916,6}{195} = 73,5 \text{ руб.}$$

Полная заработная плата производственных рабочих складывается из дополнительной $C_{\text{доп}}$, основной $C_{\text{пр}}$ и отчислений на социальное страхование $C_{\text{соц}}$.

$$C_{\text{зп.п}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{соц}}, \quad (6.2)$$

$$C_{зп.п} = 62,73 + 6,273 + 27,6 + 12,54 = 109,2 \text{ руб.}$$

Основная зарплата рассчитывается по формуле:

$$C_{пп} = T_{ш.к} \cdot Z_{ч} \cdot K_t, \quad (6.3)$$

где $Z_{ч}$ - часовая ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду, руб.;

$T_{ш.к}$ - штучно – калькуляционное время, ч;

K_t - коэффициент, учитывающий доплату за сверхурочные и другие работы, равный 1.025...1.030.

$$C_{пп} = 1,2 \cdot 51 \cdot 1,025 = 62,73 \text{ руб.}$$

Дополнительная зарплата рассчитывается по формуле:

$$C_{доп} = (0,07...0,1) \cdot C_{пп}, \quad (6.4)$$

$$C_{доп} = 0,1 \cdot 62,73 = 6,273 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальное страхование рассчитывается по формуле:

$$C_{соц} = 0,4 \cdot (C_{пп} + C_{доп}), \quad (6.5)$$

$$C_{соц} = 0,4 \cdot (62,73 + 6,273) = 27,6 \text{ руб.}$$

Доплата за вредные условия (20%) = 12,54 руб;

6.2 Расчет затрат на электроэнергию

1. Средняя плотность тока при осталивании $D_k = 0,40 \text{ А/см}^2$
2. Стоимость силовой энергии 2,5 руб. 1 кВт.ч.
3. Поверхность покрытия взята равной $0,0149 \text{ м}^2$
4. Средняя плотность хромирования $D_k = 0,50 \text{ А/см}^2$

Расчет электрической энергии за одну загрузку в течение одного часа работы ванны:

$$A = D_k \cdot F \cdot v \cdot t \quad (6.6)$$

где v - напряжение на клеммах, 6 В;

D_k — катодная плотность тока, А/см^2 ;

F - площадь покрытия;

t - время процесса электролиза, ч.

а) при осталивании в ванне

$$A = 0,40 \cdot 49 \cdot 6 \cdot 1 = 117,6 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{ч} = 0,1176 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

б) при хромировании в ванне

$$A = 0,50 \cdot 49 \cdot 6 \cdot 1 = 147 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{ч} = 0,147 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Электромотор мощностью $N=0,125$ кВт потребляется за 1 час работы;

$$A_m = N \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (6.7)$$

где N – мощность электромотора, кВт;

t - время работы, ч.

$$A_m = 0,125 \cdot 1 = 0,125 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Всего расход энергии:

$$A = A_m + A_o = 0,125 + 0,1176 = 0,2426 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A = A_m + A_o = 0,125 + 0,147 = 0,272 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таблица 6.1 - Стоимость электрической энергии по видам покрытия

Процесс	Цена на 1 кВт.ч, руб.	Количество кВт.ч.	Сумма руб.
1. Осталивание	2,5	0,2426	0,606
2. Хромирование	2,5	0,272	0,68

6.3 Расчет стоимости восстановления по способам нанесения гальванических покрытий

Стоимость материалов для восстановления берем по прайсу цен на химические товары, от 1 января 2018 г.:

1. Железо чистое	151 руб./кг
2. Хром (окись) чистый	195 руб./кг
3. Цинк чистый	270 руб./кг

На катоде за одну загрузку высаживается металл:

а) при хромировании:

$$A_2 = A_1 \cdot k \cdot \eta, \quad (6.8)$$

где k — электрохимический эквивалент, г/ч;

η - коэффициент полезного действия.

$$A_2 = 950 \cdot 0,423 \cdot 0,89 = 357,6 \text{ г/ч.}$$

При этом расход хромового ангидрида составляет 450 г.

в) при осталивание в цинк-железном электролите:

$$A_{2к} = 265 \cdot 1,04 \cdot 0,8 = 220,42 \text{ г/ч;}$$

$$A_{2ц} = 567 \cdot 1,20 \cdot 0,95 = 646,38 \text{ г/ч.}$$

$$\text{Сумма} = 866,8 \text{ г/ч.}$$

При этом расход железа составляет 0,35 кг а цинка 0,53 кг.

Таблица 6.2 - Стоимость солей и потребность при осталивании и хромировании.

№ п/п	Процесс		Количество, кг	Цена за 1 кг., руб.	Сумма, руб.	
1.	Осталивание	Fe	0,35	151	52,85	195,9
		Zn	0,53	270	143,1	
2.	Хромирование		0,45	235	105,7	

Таблица 6.3 - Отчисления на амортизацию и ремонт

№ п/п	Оборудование	Стоимость, Руб.	% отчисления		Сумма отчисл. в год, руб.		Сумма отчисл. за час, руб	
			На Амортиз.	На Тех. Рем.	На Амортиз.	На Тех. Рем.	На Амортиз.	На Тех. Рем.
1.	Ванна для осталивания	50000	22,8	12,0	11400	6000	5,4	2,9
2.	Ванна для хромирования	59000	22,8	12,0	13452	7080	6,5	3,4
3.	Установка ИГУ -	15000	22,8	12,0	3420	1800	1,6	0,8

	1							
--	---	--	--	--	--	--	--	--

Общезаводская себестоимость C_0 складывается:

$$C_o = C_{з.п} + C_{сц} + C_{мат} + C_{эн} + C_{ам} + C_{т.р} + C_{пр}. \quad (6.9)$$

Таблица 6.4 - Общезаводские затраты на восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

№ п/п	Статьи затрат	Наименование процессов	
		Осталивание	Хромирование
1.	Стоимость материалов	195,9	105,7
2.	Заработная плата с отчислениями в единый социальный налог	109,2	109,2
3.	Стоимость электроэнергии	0,606	0,68
4.	Затраты на ремонт	2,9	3,4
5.	Амортизационные отчисления	5,4	6,5
6.	Цеховые расходы	155,8	155,8
7.	Прочие затраты (10% от прямых затрат)	13,0	19,2
8.	Всего затрат	482,8	400,5

Себестоимость покрытия при осталивании и хромировании.

а) при осталивании:

$$C_{ж} = A_o/A_2 = 482,8/866,8 = 0,6 \text{ руб.}$$

б) при хромировании:

$$C_x = A_o/A_2 = 400,5/357,6 = 1,1 \text{ руб.}$$

Таблица 6.5 - Техничко –экономические показатели технологического процесса восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

№ п/п	Показатели	Наименование процессов	
		Осталивание	Хромирование
1.	Годовой фонд рабочего времени, час	2008	2008
2.	Балансовая стоимость оборудования, тыс. руб.	690	690
3.	Рост производительности	2,4	1,0

	труда		
4.	Масса покрытия, г/час	866,8	357,6
5.	Производственные затраты, руб.	482,8	400,5
6.	Себестоимость 1-го покрытия, руб.	0,6	1,1

Как видно из данных таблицы 6.5, что себестоимость 1 г гальванического покрытия, полученного методом осталивания, для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна ниже, чем при хромировании в 1,83 раза.

Производительность процесса восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна гальваническим цинк-железным сплавом методом осталивания выше, чем при хромировании - в 2,4 раза.

6.4 Расчет годовой эффективности восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

Как было определено выше, восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна методом осталивания в цинк-железном электролите является наиболее эффективным процессом. За базовый вариант принимаем хромирование.

Таблица 6.6 - Затраты на восстановление посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна

№ п/п	Показатели	Наименование процессов	
		Хромирование	Осталивание
1	Затраты времени на восстановление, час	1,2	1
2	Себестоимость 1-го г покрытия, руб.	1,1	0,6
3	Масса покрытия, г/час	357,6	866,8
4	Площадь поверхности коренной опоры, см ²	22	22
5	Затраты на восстановление 1 опоры, руб	12	11,8
6	Затраты на блок	57,0	55,0
7	Масса покрытия при толщине 0,1см	17,1	17,1

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_{эф} - \mathcal{Z}_К \cdot E, \quad (6.10)$$

где: $\mathcal{E}_{эф}$ — экономическая эффективность восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей трансмиссии комбайна, руб;

E - нормативный коэффициент эффективности;

$\mathcal{Z}_К$ — капитальные затраты на внедрение новой технологии, руб..

Восстановленные корпусные детали трансмиссии комбайна стоит 57000 руб. Себестоимость корпусных деталей трансмиссии комбайна составляет 46150 руб., в том числе 18460 руб. - это стоимость используемого при его производстве металла (40%). Тогда стоимость восстановления составляет:

а) для осталивании:

$$C_{\text{вост. остал}} = 18460 + 55 = 18515 \text{ руб.}$$

б) для хромирование:

$$C_{\text{вост. ХРОМИР}} = 18460 + 57 = 18517 \text{ руб.}$$

Годовой эффект от внедрения при программе 18 блока при капитальных затратах на переоборудования цеха 690000 руб. составит:

$$\mathcal{E}_r = 18 \cdot 46150 - 18460 - 430 \cdot 0,15 = 498,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расчетный коэффициент эффективности:

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_r}{C_B} = \frac{620,3}{690} = 0,89.$$

Срок окупаемости:

$$T = \frac{C_B}{\mathcal{E}_r} = \frac{690}{620,3} = 1,11 \text{ года.}$$

Коэффициент технико-экономической целесообразности восстановления посадочных мест с учетом коэффициента износостойкости:

$$K_{\mathcal{U}} = \frac{18460}{46150 \cdot 1,5} = 0,27.$$

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В работе проведены исследования по обоснованию технологического процесса восстановления постелей коренных подшипников блок картера двигателя внутреннего сгорания гальваническим наращиванием цинк железных покрытий.

2. Проведены экспериментальные исследования электролитического осаждения покрытий методом осталивания в цинк-железным электролите, как наиболее приемлемых для восстановления постелей коренных подшипников блок картера двигателя внутреннего сгорания. По результатам лабораторных испытаний установлено, что покрытие полученные методом

остаивания в цинк-железном электролите получают хорошими по механическим свойствам и внешнему виду. Изменение соотношения компонентов в электролите в широких пределах влияет на механические свойства покрытия.

3. На основании экспериментов найден наиболее приемлемый состав электролита для восстановления постелей коренных подшипников двигателя гальваническим наращиванием цинк-железных покрытий. Предлагаемый состав электролита:

ZnSO ₄	200 г/л
FeSO ₄	80 г/л
Серная кислота	1,7 г/л
Борная кислота	15 г/л
Аммоний сульфат	85 г/л
Режим электролиза:	
Кислотность pH	1,5-1,7
Температура	60 °C
Плотность тока	0,40 А/см ²

Анод цинковый, растворимый.

4. В работе также предлагается установка для восстановления постелей коренных подшипников в условиях производства.

5. Экономическая эффективность при восстановлении постелей коренных подшипников гальваническим наращиванием цинк-железных покрытий составляет 498,8 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богорад Л. Я. Хромирование / Л. Я. Богорад - Л.: Машиностроение, 1984. - 97 с.
2. Батищев А. Н. К методике обоснования рационального способа восстановления изношенных деталей / А. Н. Батищев // Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники: межвуз. сб.- М., 1990.- С. 124-128.
3. Батищев А. Н. Перспективные методы восстановления и упрочнения деталей/ А. Н. Батищев, И. Г. Голубев, П. А. Спицын // Обзор, информ. /Госкомсельхозтехника СССР, ЦНИИТЭП - М., 1983. - 30 с.
4. Батищев А. Н. Анодирование - как способ подготовки поверхности перед нанесением покрытия / А. Н. Батищев, А.Н. Новиков //

Достижения научно-технического прогресса на службу наращивания продовольственного фонда страны и интенсификации производства субтропических культур: тез. докл. конф.- Макардзе;Анасеули, 1985. - С. 317.

5. Балякина Г. Н. Возможность применения цинковых покрытий при восстановлении корпусных деталей/ Г. Н. Балякина, А. И. Лужков // Восстановление деталей машин. - Калуга, 1980.- С. 37-39.

6. Бабушкин А. К. Исследование физико-механических свойств железо-цинковых сплавов, применяемых для восстановления корпусных деталей электронатирием в проточном электролите: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. К. Бабушкин. - Л., 1971.- 19 с.

7. Бородин И. Н. Порошковая гальванотехника / И. Н. Бородин.- М.: Машиностроение, 1990.- 236 с.

8. Ватрамян А. Т. Методы исследования электроосаждения металлов / А. Т. Ватрамян, З. А. Соловьева.- М.: АН СССР, 1960.- 448 с.

9. Ванькович Г. Г. Исследование точности технологических процессов нанесения износостойких гальванических покрытий / Г. Г. Ванькович // Восстановление деталей машин электрохимическим методом. - Кишинёв, 1984.- С. 96-103.

10. Волков С. И. Оценка качества технологических процессов восстановления деталей / С. И. Волков // Техника в сел. хоз-ве.- 1987. - № 4.- С. 48-51.

11. Воловик Е. А. Справочник по восстановлению деталей / Е. А. Воловик.- М.: Колос, 1981.-351 с.

12. Вячеславов П. М. Методы испытаний электролитических покрытий / П. М. Вячеславов, Н. М. Шмелева. - Л.: Машиностроение, 1977.- 88 с.

13. Вячеславов П. М. Электролитическое осаждение сплавов / П. М. Вячеславов. - Л., 1971.- 140 с.

14. Грилихес С. Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / С. Я. Грилихес. - JL, 1983. - 158 е.- (Библиотечка гальванотехника)
15. Гальванические процессы: каталог/ Отд-ние науч.-исслед. ин-та техн.-экон. исслед. - Черкассы, 1983.- 16 с.
16. Гальванические покрытия в машиностроении: справочник / под ред. М. А. Шлугера [и др.] - М.: Машиностроение, 1985.- 385 с.
17. Глубцов А. А. Исследование и разработка технологии восстановления внутренних поверхностей чугуновых корпусных деталей машин осталиванием в стационарных ваннах: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Глубцов.- М., 1971.- 140 с.
18. Грановский В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. - Л.: Энергоатомиздат, 1990.-288 с.
19. Завадский Ю. В. Методика статистической обработки экспериментальных данных / Ю. В. Завадский. - М: МАДИ, 1973. — 98 с.
20. Иваненко К. С. Исследование сравнительной экономической эффективности восстановления изношенных автотракторных деталей гальванопокрытиями в условиях ремонтных предприятий: дис. ... канд. экон. наук / К. С. Иваненко. - Кишинев, 1982.- 178 с.
21. Исаев Н. Н. Особенности механизма электролитического сплавообразования / Н. Н. Исаев, Б. Г. Карбасов, К. Н. Тихонов // Прикладная химия." 1987.- Т. 60, № 2.- С. 283-287.
22. Караказов Э. С. Восстановление деталей - важный резерв ремонтного производства/ Э. С. Караказов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва.- 1988.-№ 10.- С. 51-53.
23. Кареев А. С. Восстановление изношенных деталей железнением / А. С. Кареев // Техника в сел. хоз-ве. - 1985,- № 3.- С. 52-54.
24. Кудрявцев Н. Т. Электролитическое осаждение металлов / Н. Т. Кудрявцев, К. М. Тютина, С. М. Фиргер. - М., 1959. - 17 с.

25. Коротин А. И. Технология нанесения гальванических покрытий / А. И. Коротин . - М.: Высш. шк., 1984. - 200 с.
26. Корчмань А. Г. Разработка технологии восстановления и упрочнения электролитическими покрытиями длинномерных валов сельскохозяйственных машин: автореф. ... дис. канд. техн. наук / А. Г. Корчмань. — Кишинев, 1990.-25 с.
27. Кричевский М. Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / М. Е. Кричевский. - М.: Росагропромиздат, 1988.-143 с.
28. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин: учеб. для вузов / В. В. Курчаткин [и др.]; под ред. В. В Курчаткина. — М.: Колос, 2000 - 776 с.
29. Лабаров Д. Б. Повышение качества восстановления деталей путем применения сульфохромирования / Д. Б. Лабаров // Монография. - Улан- Удэ, 1999.-81 с.
30. Ландо С. Я. Восстановление автомобильных деталей / С. Я. Ландо. - М.: Транспорт, 1987.-С 105-106.
31. Лайнер В. И. Современная гальванотехника / В. И. Лайнер. - М.: Металлургия, 1997. - 384 с.
32. Лбов Ю. С. Восстановление деталей гальваническими сплавами / Ю. С. Лбов, Г. М. Шишкин. - Иркутск: ИСХИ, 1979 - 78 с.
33. Восстановление изношенных деталей методом холодного осталивания / В.А. Лихачев [и др.] // Тез. докл. к совещ. "Совершенствование технологии гальванических покрытий».- Киров, 1980.- С. 72.
34. Лабаров Д. Б. Технологический процесс восстановления деталей композиционными покрытиями / Д. Б. Лабаров // Монография. — Улан-Удэ, 1999.- 79 с.
35. Мелков М. П. Твердое осталивание автотракторных деталей /М. П. Мелков. - М.: Автотрансиздат, 1971. - 224 с.

36. Малянов В. Н. Исследование условий повышения производительности вневанного проточного осталивания автомобильных деталей: дис. ... канд. техн. наук/В. Н. Малянов. - М., 1971.- 186 с.
37. Молодых Н. В. Восстановление деталей машин: справочник / Н. В. Молодых, А. С. Зенкин. - М.: Машиностроение, 1989.- 480 с.
38. Марковкин Н. Г. Исследование восстановления неподвижных сопряжений автотракторных деталей железо-цинковым покрытием электронатирированием: автореф. дис.... канд. техн. наук / Н. Г. Марковкин.-М.; Балашиха, 1967.- 24 с.
39. Новые технологические процессы восстановления деталей машин: сб. науч. тр. - Кишинев: Штиница, 1988.- 132 с.
40. Плеханов И. Ф. Гальванический способ восстановления отверстий / И. Ф. Плеханов, С. В. Скифский // Техника в сел. хоз-ве. - 1982. № 5. –С.51-52.
41. Павлов А. Восстановление деталей гальваническим покрытием на основе цинка / А. Павлов // Автомобильный транспорт,- 1981.- № 8.-С. 27-29.
42. Поветкин В. В. Структура и свойства электролитических сплавов / В. В. Поветкин, И. М. Ковенский, Ю. И. Установщиков. - М.: Наука, 1992.- 225 с.
43. Восстановление деталей машин / Ф. И. Пантеленко [и др.]. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
44. Восстановление деталей электронатирированием / В. П. Ревякин [и др.] - Тюмень, 1972.- 68 с.
45. Рекомендации по восстановлению изношенных деталей машин хромированием и железнением. - М: Россельхозиздат, 1976.-152 с.
46. Справочник гальваника.- Харьков: Прапор, 1988.- 87 с.
47. Совершенные способы восстановления корпусных деталей // Обзор. информ. /АгроНИИТЭИИТО ; авт. Спицын Л.А. - М., 1990. - С. 19-31.

48. Схиртладзе А. Г. Технология восстановления корпусных деталей / А. Г. Схиртладзе // Технология металлов.- 2001.- № 12.- С. 30-32.
49. Теория и практика электроосаждения металлов и сплавов // Тез. докл. к зональной конф. - Пенза, 1989. - С. 87.
50. Усков В. П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей / В. П. Усков. - Брянск, 1998. - 589 с.
51. Харитонов Л. Г. Определение микротвердости / Л.Г. Харитонов. - М.: Металлургия, 1967.-47 с.
52. Черноиванов В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин.- 2-е изд., доп. и перераб. - М.: ГОСНИТИ, 2003. - 488 с.
53. Щербаков Ю. В. Современные способы восстановления деталей машин / Ю. В. Щербаков. - Пермь, 1991.- 78 с.
54. Юдин В. М. Восстановление неподвижных сопряжения валподшипник качения энергонасыщенных тракторов контактным электролитическим железнением на сельскохозяйственных ремонтных предприятиях: автореф. дис.... канд. техн. наук / В. М. Юдин. - М., 1982.- 16 с.
55. Лопоян Ю. Н. Восстановление коренных подшипников двигателя / Ю. Н. Лопоян, М. В. Сушкевич // Техника в сел. хоз-ве.- 1963. - №5.-С. 65-67.