

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»
Направление подготовки –35.04.06 «Агроинженерия»
Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)
ТЕМА: РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫМ

Студент магистратуры _____ Замалиев И.И.

Научный руководитель,

д.т.н., доцент

Калимуллин М.Н.

Рецензент

к.т.н., доцент

_____ Лукманов Р.Р.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
(протокол № 19 от 13 июня 2018 г.)

Зав. кафедрой профессор

ученое звание

подпись

Адигамов Н.Р.

Ф.И.О.

Казань-2018

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе Замалиева Ирска Ильгамовича по теме: «Разработка и обоснование технологии восстановления деталей железнением»

Выпускная квалификационная работа выполнена на 99 страницах. Она содержит 11 таблиц и 27 рисунков. Список использованной литературы состоит из 89 наименований.

Первой главе рассмотрено состояние вопроса и задачи исследований технологии восстановления деталей железнением. Представлен анализ применения различных форм тока при электролизе, есть сведения по обрабатываемости железного покрытия. Раздел завершается постановкой цели и задач исследования. Также здесь представлены краткие выводы по разделу.

Вторая глава посвящена рассмотрению сущности и определению основных параметров процесса предлагаемого способа восстановления.

В третьей главе изложена программа и методика экспериментальных исследований. Представлены критерии выбора оборудования, материалов, режима электролиза. Изложена методика определения оптимальных режимов, а также представлено планирование полнофакторного эксперимента.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных исследований. Приведены результаты определения оптимальных режимов электролиза. Получены экспериментальные данные влияния параметров процесса на микротвердость, образование дендридов и равномерность, износостойкость покрытия.

Пятая глава посвящена технико-экономической оценке.

Работа завершается заключением.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	8
1.1 Состояние вопроса.....	8
1.2 Анализ применения различных форм тока при электролизе.....	11
1.3 Обрабатываемость железного покрытия	17
1.4 Задачи исследований	21
1.5 Выводы по разделу.....	25
2 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ.....	26
2.1 Анализ деформации картеров коробок передач по параметрам отклонения взаимного расположения рабочих поверхностей.....	26
2.1.1 Отклонение межосевых расстояний отверстий под подшипники.....	26
2.1.2 Непараллельность осей верхних и нижних отверстий под подшипники.....	30
2.2 Влияние пространственной деформации коробки передач на работоспособность ее основных узлов	32
2.3 Расчет необходимой толщины покрытия для восстановления посадочных гнезд под подшипники картера коробки передач.....	37
2.4 Влияние микротвердости железного покрытия на износ лезвийного инструмента при обработке	41
2.5 Определение возможности обработки железного покрытия протягиванием	42
2.6 Влияние газовой фракции на дефекты и равномерность распределения металлопокрытия.....	43
2.7 Выводы по разделу.....	50
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	51
3.1 Выбор оборудования, материалов и режимов электролиза.....	51
3.2 Методика определения оптимальных режимов получения покрытия на асимметричном токе	59

3.3 Планирование полного факторного эксперимента.....	65
3.3.1 Цель и задачи планирования.....	65
3.3.2 Полный факторный эксперимент	66
3.4 Методика исследования влияния формы асимметричного тока на свойства покрытий, а так же возможности применения повышенной плотности тока	70
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ.....	72
4.1 Определение оптимальных режимов электролиза.....	72
4.1.1 Образование дендритов и питтинга при железнении	72
4.1.2 Равномерность металлопокрытия	74
4.1.3 Микротвердость металлопокрытия	76
4.1.4 Производительность процесса железнения	77
4.2 Разработка математической модели по результатам исследований.....	79
4.3 Исследование влияния формы асимметричного тока на свойства покрытий, а также возможность применения повышенной плотности тока...	73
4.4 Определения стойкости лезвийного инструмента при обработке деталей восстановленных железнением	84
Выводы по разделу	86
5 Расчет сравнительной экономической эффективности технологии восстановления.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
ЛИТЕРАТУРА.....	92

5 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время невозможно представить свою жизнь без автомобиля. Каждый автомобиль оснащен такими деталями как блок цилиндров, картер коробки передач, картер ведущего моста - эти основные составляющие сложного механизма машины находятся под влиянием внешних сил в процессе их эксплуатации. В результате активного воздействия перечисленные выше агрегаты, а в частности их чугунные детали деформируются, в результате возникает ситуация нарушения взаимного расположения рабочих поверхностей. В данном случае требуется обеспечить восстановление таких поверхностей, в результате чего негативное воздействие указанных деформаций будет устранено, так как будет увеличен припуск на обработку. Таким образом, в настоящее время требуется разработать методику, в рамках которой будут получены более толстые покрытия ремонтируемых поверхностей. Известный российский ученый, профессор Мелков М.П. разработал методику железнения в горячих хлористых электролитах. Указанная методика в настоящее время представляет собой наиболее часто используемый способ восстановления деталей автомобилей, она позволяет достичь высоких технико-экономических показателей, при этом требует использования материалов дефицита, которых не наблюдается. Вместе с тем у данной методики присутствует один явный недостаток, этим способом можно восстановить только ограниченный перечень автомобильных деталей. Если для восстановления деталей требуется снять довольно большой припуск на ремонтируемую поверхность, данная процедура сложно осуществима в условиях железнения. Сложность заключается в том, что при осаждении покрытия в силу неравномерного распределения тока по восстанавливаемой поверхности отмечается повышение уровня дендритов и образование питтинга. Возникновение неравномерного распределения тока на поверхности происходит в первую очередь под влиянием адсорбции на поверхности водорода и разнообразных частиц, которые пребывают в составе электролита. В случае поиска наиболее

оптимального решения указанных задач номенклатура деталей подверженных восстановлению методом железнения будет увеличена более того, появится возможность восстанавливать крупногабаритные, корпусные детали, у которых уровень износа рабочей поверхности превышает последний ремонтный размер. Цена на эти детали достаточно высока, именно по этой причине необходимость их восстановления позволит дать высокие технико-экономические показатели.

Анализируя существующий в настоящее время теоретический материал по рассматриваемой тематике в аспекте влияния асимметричного тока на характеристики гальванических осадков можно заключить, что в случае его применения в процессе железнения будет значительно повышена величина получаемого припуска за одну обработку, так как будет происходить снижение дендритообразования и пittingа. Таким образом, можно заключить, что цель настоящего исследования заключается в проведении необходимых мероприятий, позволяющих в существенной мере расширить номенклатуру восстанавливаемых деталей автомобилей. Цель исследования может быть достигнута путем получения покрытий, толщина которых составляет более 1 мм на одну сторону за одну завязку, при использовании асимметричного тока, с сохранением повышенных уровней производительности, которые характерны для процессов железнения, а также выявление перечня основных характеристик, обуславливающих характер влияния асимметричного тока на основные параметры покрытия. Актуальность темы настоящего исследования обуславливает высокий уровень технико-экономической эффективности, возможность расширения номенклатуры детали автомобиля, которые могут быть восстановлены и методом железнения, путем включения в этот перечень крупногабаритных корпусных деталей, на которых присутствует пространственная деформация рабочей поверхности.

Цель настоящего исследования заключается в проведении мероприятий, направленных на модернизацию технологии восстановления деталей автомобилей методом железнения, с последующим формированием покрытия

повышенного уровня толщины, требующегося для ликвидации пространственной деформации корпусных деталей автомашин.

Полученные в результате эксперимента результаты позволят разработать простую в реализации, сравнительно не дорогую и высокоэффективную технологию восстановления деталей сельхозтехники.

Объектом исследования является технологический процесс нанесения электролитического железного покрытия со свойствами, обеспечивающими получение припуска толщиной более миллиметра при высокой производительности, присущей процессу железнения в горячих хлористых электролитах.

Предметом исследования является исследование таких свойств покрытия как образование питтинга и дендритов, точность размеров, формы заготовки и производительность процесса электроосаждения железа в горячих хлористых электролитах железнения на асимметричном токе, а также основные механические свойства получаемых осадков.

Практическая ценность и реализация результатов работы:

- предложена схема технологического процесса формирования железного покрытия в горячих хлористых электролитах железнения с использованием асимметричного тока;

- снижен износ инструмента при обработке покрытия на токарном и шлифовальном станках.

Основные положения диссертационной работы были доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов Казанского ГАУ (2016-2018гг.).

Основное содержание диссертации, результаты исследований отражены в 2 статьях в трудах международной конференции.

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Состояние вопроса

Одним из главных направлений совершенствования восстановительной технологии является расширение ассортимента и качества деталей и узлов машин, подвергающихся восстановлению. Несмотря на то, что большинство деталей машин выбраковываются при износах, не превышающих 0,3 мм [1-7] достаточно часто требуется нанесение значительных толщин покрытия (более 1 мм) на восстанавливаемых поверхностях деталей. Причины того, что на поверхности деталей требуются нанесение покрытия, значительно превышающие величины износа различны.

Большое значение при восстановлении размеров отверстий в корпусных деталях имеет соблюдение точности взаимного расположения восстанавливаемых и не восстанавливаемых поверхностей, при обеспечении, разумеется, точности размера и формы. Первая задача решается соответствующим базированием деталей. Известно [9], что в процессе эксплуатации корпусные детали деформируются до весьма значительных величин. Ликвидировать влияние деформаций можно только увеличением припуска на обработку [10].

Так же встречается большая группа дорогостоящих деталей, которые уже были восстановлены методом ремонтных размеров (коленчатый вал, распределительный вал и т. д.), но их износ уже превышает последнее его значение. Их также можно восстановить до номинальных размеров нанесением покрытия большой толщины.

При ремонте деталей достаточно часто требуется восстановить базовые поверхности, которые были нарушены в процессе эксплуатации машин. Это ведет к тому, что требуется увеличить величину припуска на механическую обработку.

Кроме этого встречаются детали, в процессе эксплуатации у которых износ рабочих поверхностей имеет значительные величины. Их так же можно восстановить нанесением толстого покрытия с необходимой величиной

припуски. Все вышеперечисленные группы деталей, как правило массивные и дорогостоящие, поэтому целесообразность их восстановления не вызывает сомнения.

При формировании заготовки из изношенной детали специалисты, так или иначе, стараются вернуть ей характеристики, которые она демонстрировала до ввода в эксплуатацию. В данном случае используются способы, позволяющие достичь необходимого показателя долговечности с использованием при этих мероприятиях наименьших затрат, которые возможны в данном случае. В настоящее время на базе Саратовского политехнического института профессор М.П. Мелков разработал одну из наиболее хлористых электролитов. Метод был апробирован еще при СССР в 1956 году. Эксперименты осуществлялись на базе Саратовского авторемонтного распространенных методик, сущность которой сводится к восстановлению изношенных поверхностей с использованием твердого электролитического железа из горячих заводов. Сегодня метод также активно используется в случае необходимости восстановления изношенных деталей автомобилей, тракторов, двигателей внутреннего сгорания кораблей, тепловозов также методику активно используют в секторе нефтегазовой промышленности и иных секторах народного хозяйства [11-15]. Процессы формообразования вторичных заготовок при использовании электролитического железного покрытия имеют одну отличительную особенность в сравнении с другими методами восстановления, так как демонстрирует высокие технико-экономические параметры и отсутствие дефицита в используемых средствах [16]. Заготовки, формирование которых было осуществлено при помощи электролитического железа, демонстрирует отсутствие поволоки и коробления, указанные недостатки отмечаются только в случае восстановления деталей с использованием процессов наплавки [17], методу железнения присуща также относительно высокая твердость и износостойкость [18]. На рисунке 1.1 продемонстрирован эскиз электролитической ячейки, используемой при формировании покрытия в отверстии для подшипника картера КПП.

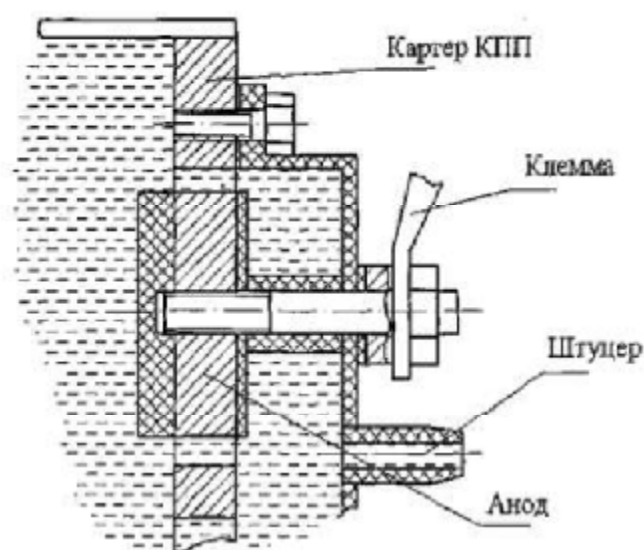


Рисунок 1.1 – Конструкция электролитической ячейки

Нужно указать, что получить качественное железное покрытие с большой толщиной в течение 1 загрузки в ванну, в случае использования стандартных режимов железнения достаточно сложно. Так как процесс электроосаждения металла на катоде обладает рядом отличительных черт, в процессе электролиза отмечается повышение шероховатости покрытия. В силу активного развития дендритов и питтинга на зеркале электролитического железа происходит ограничение предельно допустимой толщины наращиваемого слоя за одну обработку [8]. Обеспечить получение качественных покрытий, толщина которых будет составлять 1 мм можно только в случае обеспечения низких плотностей тока (25 A/дм^2 и менее) или путем использования нескольких довесок при повторении всех необходимых подготовительных процедур до нанесения покрытия. Отсюда происходит существенное повышение времени требуемого для выполнения процесса, что в итоге провоцирует повышение стоимости ремонтных работ.

Восстановление железнением «в размер» рабочих поверхностей деталей, требующих большой величины припуска, не может быть выполнено. Поэтому полученные покрытия необходимо подвергнуть обработке для получения правильной геометрической формы и шероховатости поверхности. Известным недостатком электролитических железных покрытий является трудность обработки их режущим инструментом, основным при обработке внутренних

поверхностей восстанавливаемых деталей.

По результатам анализа применения асимметричного тока в рамках реализации гальванических процессов, а также существующие теоретические наработки указывают на то, что в случае его использования появляется возможность уменьшения или полного устранения перечисленных выше недостатков в железнении с использованием горячих хлористых электролитов, так как они не позволяют выполнять восстановление деталей, в случае необходимости увеличенных значений припуска на обработку.

1.2 Анализ применения различных форм тока при электролизе

При реализации гальванотехнических процессов, наряду с постоянным током могут быть использованы также другие формы тока в процессе электролиза: симметричный переменный, импульсный, реверсированный, асимметричный разной формы и т.д.

Может показаться, что в момент прохождения симметричного переменного тока через электролит, процессы осаждения или растворения металла на электроде не должны осуществляться. Тем не менее, существует множество доказательств которые свидетельствуют о том, что можно добиться осаждения металлов при использовании симметричного переменного тока. Реализовать этот процесс можно потому, что электрический ток в рамках одного направления будет проходить легче, нежели в другом, в силу чего происходит процедура частичного выпрямления тока. Такие результаты можно увидеть при осуществлении процедуры осаждения металла электрическим током с использованием Be, Cu, Ni, Fe, Sb [19]. В частности в случае осаждения электрическим током никеля из сернокислых растворов с использованием симметричного переменного тока можно установить, что катодная поляризация никеля в три раза превышает поляризацию анодной [19].

Реверсированный ток представляет собой разновидность асимметричного тока. Впервые этот вид тока был использован при осаждении

металлов электрическим током уже в начале XX века, но каких-либо высоких результатов удалось достичь только сегодня. Реверсированный ток можно получить в случае быстрого изменения направления тока, частота тока в данном случае регулируется переключателем и зависит от его типа. Если требуется получить блестящее светлое покрытие, которому присуща высокая отражательная способность и отсутствие необходимости последующей механической обработки реверсированный ток может дать необходимые результаты.

Был проведён ряд экспериментов и исследований в рамках, которых освещались вопросы осаждения металла с использованием импульсного или пульсирующего тока. Для получения импульсного тока требуется организация более сложных схем, по этой причине на практике они используются редко.

После окончания Второй мировой войны в конце 1940-х начале 1950-х гг. в гальванотехнических процессах впервые начали использовать асимметричный ток, как правило, его реверсированный вид [20-24]. В частности, использовался ток с периодическими изменениями по направлению, но ток постоянный, то есть с неизменным сопротивлением цепи, или непостоянный в рамках которого сопротивление в прямом и обратном направлении отличается по абсолютной величине, рисунок 1.2. Сегодня многие специалисты обращают внимание на разработанный достаточно давно метод электролиза металлов при использовании реверсированного тока, так как были определены необходимые условия для повышения уровня интенсивности указанных электрохимических процессов.

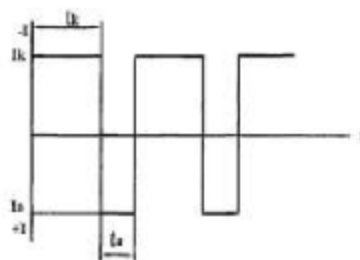


Рисунок 1.2 – Схема изменения реверсированного тока

В ходе реализации последних экспериментов и исследований,

проводимых российскими и иностранными специалистами в направлении исследования методики осаждения металлов с использованием реверсирования тока, а также практический опыт полученный в промышленности этого сектора деятельности, огромную работу провел Л.Г. Бахвалов, так как он суммировал полученные практические наработки и теоретические знания.

Невзирая на тот факт, что при использовании метода непосредственного осаждения металла с использованием реверсированного тока, совокупный объём электричества в данном случае не используется полностью, при течения его через покрываемые детали, уровень эффективности гальванических процедур в данном случае всё равно повышается в достаточной степени. Используя рассматриваемую методику, осадка металла в данном случае может быть осуществлена с использованием повышенной плотности тока, в сравнении данного показателя с плотностью гальванического покрытия с использованием постоянного тока. В первую очередь это обусловлено тем, что присутствует процесс регулярного выравнивания концентрации катионов в электродном или при катодном слое во всей массе электролита, при осуществлении анодной поляризации деталей, которые требуется покрыть, также способствует данному процессу анодное растворение покрытия. Верхняя граница рабочей плотности тока в процессе осадки металла обуславливается критериями реверсивного тока i_k и i_a , а, а также зависит от продолжительности плотного периода T . Показатели плотности тока повышаются в случае уменьшения пропорционального отношения i_k / i_a , а также в случае уменьшения параметра T . Использование более высокой рабочей плотности в процессе осаждения металлов может быть осуществлено потому, что присутствует периодическая деполяризация электродов, сокращается уровень их поляризации в случае каждой смены полярности. Подобное воздействие реверсирования тока на течение электродных процессов, а также фактор электрополирующего действия тока на покрытие в рамках течения процесса анодной поляризации обеспечивают возможности, в силу которых может быть реализована электрокристаллизация

металла на поверхности детали в необходимом направлении и с использованием повышенной рабочей плотности тока.

В ряде процессов, например, при электроосаждении некоторых металлов в растворах их простых солей, верхний предел рабочей плотности тока может быть при некоторых условиях близок по своему значению к предельному току, однако в реальных условиях рабочая плотность тока на катоде лимитируется допустимым верхним пределом анодной плотности тока. Превышение этого предела вызывает пассивирование анодов, если гальваническая ванна работает на постоянном токе. Реверсирование тока предупреждает пассивирование основных анодов в периоды катодной поляризации и иногда способствует очень значительному повышению верхнего предела анодной рабочей плотности тока, а в связи с этим и повышению рабочей плотности тока на катоде.

Для выделения металла на электроде при прохождении реверсированного тока необходимо, чтобы количество электричества, протекающее за время катодного полупериода, было больше количества электричества, протекающего за время анодного полупериода. Если количество электричества, прошедшее за время анодного полупериода, больше количества электричества, прошедшего за время катодного полупериода, то происходит анодное растворение металла. Процесс кристаллизации в катодный полупериод протекает на поверхности электрода, отличной по своему состоянию от той поверхности, которая возникает при обычном электролизе. Нет сомнений, что реверсированный ток устраняет условия для роста уже образовавшихся центров кристаллизации и в ряде случаев способствует возникновению новых центров. В результате можно изменять в желаемом направлении многие физические свойства покрытий (состояние поверхности, пористость, внутренние напряжения, структура осадка и др.), которые, так же как и электрохимические характеристики процесса электролиза, при использовании реверсированного тока находятся в зависимости от относительной продолжительности катодной t_k и анодной t_a поляризации электродов, т.е. от отношения $t_k : t_a$. Опыт показал, что при

осаждении металлов из растворов из простых сернокислых солей оптимальное значение отношения $t_k : t_a$ находится в пределах 7-10. Немаловажную роль играет и другой фактор при электролизе с реверсированным током - эффективность тока в катодный и анодный полупериоды. Следует отметить, что положительное влияние реверсированного тока в гальванических процессах сказывается лишь до некоторого минимального значения скорости изменения полярности электродов, зависящего от природы и состава электролитов, плотности тока, температуры и других факторов.

Положительное влияние реверсирования тока широко используется в промышленности. Поры или ослабленные участки в электроосажденном покрытии возникают вследствие ряда причин. Одной из них может быть наличие дефектов на поверхности основного металла (царапины, поры, пузыри и т.д.). В этом случае при осаждении металла реверсированным током влияние дефектов устраняется периодической анодной поляризацией слоев покрытия.

В процессе выпадения из электролита на поверхность катода взвешенных элементов также провоцируется появление пор в рамках покрытия, а также формируются неровности на зеркале осадка. В случае использования методики осаждения металла использованием реверсированного тока инородные элементы удаляются с поверхности покрытия в рамках анодной поляризации, в особенности если в рамках анодного периода протекает процесс растворения покрытия. В ситуации, когда поры в покрытии образуются под влиянием наличия несовершенства в структуре кристаллического осадка, в частности, в силу образования дендритов, губки и поропка, то используя периодическую перемену направления тока их можно устранить, так как образуется покрытие с более совершенной структурой. Как правило, в случае осаждения металлов с использованием реверсированного тока через определенные периоды времени в рамках анодного периода происходит пассивирование поверхности электрода. По этой причине процесс электрокристаллизации слоев в рамках катодных периодов будет протекать на заблаговременно пассивированной

поверхности электрода. Л. И. Каданера [26,27] в ходе своих экспериментов установил, что в силу этих процессов также в существенной мере повышаются защитные свойства покрытий.

Играет огромную роль для практической деятельности процесс исследования особенностей влияния реверсированного тока на параметры и характеристики прочности сцепления покрытия и основного металла.

Как следует из результатов экспериментов, которые реализовались для поиска ответа на эти вопросы [28,29,30], было установлено, что в случае перемены направления тока в рамках осадки металлов негативного влияния на показатели прочности сцепления не оказывается. Более того установлено, что в случае никелирования прочность сцепления еще более повышается.

Судя по литературным данным, детального изучения влияния реверсированного тока на величину внутренних напряжений в электроосажденных покрытиях не проводилось. Однако исследования в этом направлении также важны.

Наличие внутренних напряжений в покрытиях, нанесенных на сталь постоянным током, снижает усталостную и коррозионно-усталостную прочность основного металла, поэтому изделия, изготовленные из стали (особенно из легированной), работающие при знакопеременных нагрузках, избегают защищать от коррозии никелированием или хромированием, т.е. покрытиями, имеющими, как правило, большие внутренние напряжения.

Реверсирование тока неизбежно снижает внутренние напряжения в покрытиях. Очевидно, реверсирование тока, предотвращая наводораживание слоев осаждающегося металла, вызывает понижение внутренних напряжений в покрытиях. К этому же заключению приводит и изменение геометрии кристаллов осаждающегося металла. Они имеют более правильную форму, тогда как при осаждении металла на постоянном токе кристаллическая структура имеет явные искажения, и тем большие, чем продолжительней процесс осаждения металла. Это особенно важно при восстановлении деталей требующих большой припуск на обработку, так как требуется получить толстые покрытия.

О влиянии периодической перемены направления тока на твердость электроосажденных покрытий данных мало. Кроме того, некоторые авторы утверждают что покрытия, полученные на асимметричном токе имеют большую твердость, чем аналогичные покрытия, полученные на постоянном токе [34], другие говорят обратное [35]. Но очевидно, что для процесса железнения снижение наводороженности поверхности, благодаря процессу десорбции водорода на анодной полувольтне асимметричного тока, должно привести к получению более мягких покрытий. Также под действием кислорода, выделяющегося на деталях при анодной полувольтне, частично снижается насыщение водородом поверхности. Все это должно положительно сказаться на стойкостных характеристиках обрабатывающих инструментов. Особенно большое значение это имеет при восстановлении деталей требующих получения припуска на обработку значительной величины.

1.3 Обрабатываемость железного покрытия

При получении припуска толщиной более миллиметра на сторону практически невозможно сформировать покрытие, не требующее обработки. В тоже время механическая обработка деталей, восстановленных железом, представляет определенные трудности, обусловленные специфическими свойствами твердого электролитического железа.

Электролитическое железное покрытие не является ни малоуглеродистой ни среднеуглеродистой сталью. И в этом выражается двойственность природы электролитического железа: с одной стороны это чистое (практически) железо с содержанием углерода 0,04-0,06%, с другой металлы высокой твердости (Hц 5500-6500 МПа и выше) с чрезвычайно мелкодисперсной структурой [8]. К тому же в процессе электролиза физико-механические свойства железа (структура, микротвердость, внутренние напряжения, теплопроводность упругость и др.) изменяется в широком диапазоне в зависимости от условий электролиза.

Под влиянием высоких давлений и температур, возникающих в

поверхностных слоях покрытий под воздействием обрабатывающих инструментов, может произойти разупрочнение металла (снижение микротвердости) и разрушение его структуры. Поэтому при решении задач повышения качества обработанных поверхностей, производительности и экономичности процесса обработки следует внимательно учитывать как специфические свойства электролитического железа, так и различные факторы (режимы обработки, характеристики обрабатывающих инструментов, смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и др.), воздействующие на обрабатываемую поверхность.

Механическую обработку твердых железных покрытий деталей выполняют на шлифовальных и в меньшей степени на токарных станках. Резание электролитического железа на токарных станках отличается от резания обычных среднеуглеродистых сталей. Особенности физико-механических свойств железных покрытий, их твердость, структура и внутренние напряжения, наличие в нем различных примесей (гидроокиси и др.) определяют характер стружкообразования, шероховатость обработанных поверхностей и износ режущего инструмента. Электролитические железные покрытия, полученные на постоянном токе характеризуются значительной хрупкостью, разветвленной сеткой трещин и малой пластической деформацией, при точении дают стружку скалывания, а при высоких скоростях резания пылеобразную форму.

В Пермском сельскохозяйственном институте специалисты кафедры технологии металлов провели ряд экспериментов в вопросах определения уровня обрабатываемости деталей, которые были до этого восстановлены методом железнения. Специалисты изучали особенности течения и шлифования покрытий, полученных при железнении. Проводился также анализ показателей обрабатываемости покрытий, твердость которых составляет $HV=250...290$ кг/мм² (мягкие покрытия), а используются они в процессе восстановления корпусных элементов и дальнейшей химической и термической обработки, а также исследовались покрытия, твердость которых составляет $HV\ 480...520$ кг/мм (твердые покрытия), и используются они в

целях восстановления изделий, эксплуатирующихся в разных условиях.

В ходе проведения экспериментов касающихся анализа процесса точения электролитического железа, исследования проводились в аспектах силы резания, радиального износа резцов, усадки стружки, показатели температуры в районе резки, показатели шероховатости обработанных поверхностей режим обрезаки и геометрическим параметрам резцов.

По результатам исследования было установлено, что в процессе точения в зоне резки отмечается повышение температуры, в силу которой интенсивность износа резцов в существенной мере повышается. Более того, в случае использования скорости резки до 100 метров в минуту показатели температуры в зоне резки в случае точением мягких покрытий будут более высокими нежели при точении твёрдых покрытие. Такая ситуация обусловлена тем, что в случае точение мягких тканей в зоне резки отмечается наличие пластической деформации (коэффициент усадки стружки $K_1 = 1.5 \dots 2.3$). В процессе точения твердых или хрупких покрытий отмечается незначительный уровень пластической деформации, коэффициент усадки стружки в данном случае варьируется с 0.9 до 1.3 [38]. Присутствующие в данном случае значения коэффициента усадки стружки воздействуют на показатели износа режущего инструмента, в силу того, что при уменьшении коэффициента усадки стружки происходит увеличение скорости движения стружки через переднюю поверхность, в силу этого увеличивается параметр контактного давления. В ситуации, когда появляется «отрицательное» значение коэффициента усадки стружки происходит изменение коэффициента износа. В случае когда значения составляют $K_1 > 1$ износ по большей части будет происходить на задней поверхности если $K_1 < 1$ в таком случае износ будет отмечаться как на задней так и на передней поверхности.

В процессе точения твёрдых и мягких покрытий не единожды выявлялся существенный параметр интенсивности радиального износа и малый уровень стойкости резцов. По результатам исследований было установлено, что в процессе точения мягких покрытий уровень стойкости резцов будет ниже. Такую ситуацию можно объяснить тем, что в случае

повышенной температуры в зоне резания и абразивного действия в осадок включения гидроокиси. Ученые доказали, что показатели стойкости режущего инструмента будут снижаться в случае снижения в составе твердого сплава объёма карбида титана и повышением содержания объёма кобальта. Максимально высокие результаты в соответствии с параметром стойкости демонстрируют резцы изготовленные из твердого сплава Т30К4 и минералокерамики ЦМ332. ЦМ 332 в силу обладания высоким уровнем стойкости к износу и своей химической пассивностью, характеризуется низкой вязкостью, в силу чего в случае течения слоистых осадков и трещиноватых покрытием, в случае присутствия дендритов на поверхности осадка может происходить микро выпрашивание режущего лезвия и вершины резца [110].

В.А. Бабенко [12] в своих исследованиях продемонстрировал результаты экспериментов по показателям обрабатываемости электролитического железа и сплава с использованием железоникельного лезвийного инструмента. В рамках эксперимента рассматривали следующие вопросы: усиление резания, уровень износа режущего инструмента, отбор максимально эффективных скоростных показателей резки и материала резца, уровень шероховатости обрабатываемой поверхности:

- в соответствии с показателем основного критерия h_1 (значение радиального износа резца) максимальную эффективность демонстрируют покрытия железо-никель (с микротвердостью 170...190 кг/мм²); такое же влияние никеля на показатели обрабатываемости и на износа режущего инструмента были выявлены в работе [8];

- в качестве рекомендованной геометрии режущей части выступает $\gamma=110^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $\alpha_1=20^\circ$, $X=2^\circ$;

- максимально эффективные результаты в соответствии со стойкостью режущего инструмента для резцов демонстрирует твердый сплав Т15К10;

- оптимальная скорость резания, которая обеспечивает минимальный износ режущей части резца, принята как 40 м/мин.

Точение не во всех случаях обеспечивает потребности по точности и

шероховатости поверхности предъявляемыми к восстановленным поверхностям техническими условиями. Поэтому чаще при обработке твердого железа используют шлифование. Широкая практика применения твердого железа для восстановления и упрочнения деталей показала что, при шлифовании железных покрытий, имеющих на поверхности значительное количество дендритов, имеют место засаливание абразивного инструмента, его износ и большая шероховатость. Дендриты, обладая высокой твердостью, выбивают из круга абразивные зерна, что вызывает повышенный износ кругов, повышенную шероховатость обработанной поверхности [8]. Возникает вопрос о целесообразности выполнения шлифования поверхности после снятия дендритов. Резкое отличие условий формирования макро- и микроструктуры твердого электролитического железа по сравнению с малоуглеродистыми сталями и железом полученным пирометаллургическим способом влияет на выбор абразивных шлифовальных кругов применительно к условиям ремонтного производства. По результатам исследования наиболее рациональным абразивным кругом следует считать 39A40CM2K, а так же 24A25CM2K.

1.4 Задачи исследований

Изыскание возможности устранения питтинга и снижение дендригообразования в процессе электролиза позволит расширить номенклатуру деталей, рекомендуемых к восстановлению способом твердого электролитического железнения.

Эффективным способом в борьбе с питтингом и дендригообразованием может быть использование асимметричного тока при электролизе.

Сегодня не проводились достаточные исследования в вопросах использования асимметричного тока в процессе восстановления деталей с использованием горячих (60-80°C) хлористых электролитов железнения. До этого асимметричный ток использовали только для повышения адгезии покрытия с основой в холодных без осуществления нагрева электролитов

железнения.

В соответствии с существующими сегодня теоретическими наработками, можно заключить, что в случае анодной полуволны асимметричного тока с поверхности покрытия будет устраниваться водород, то есть будет ликвидирован пitting, а также будет сокращён уровень наводороживания электролитического слоя, что позволит сократить показатели хрупкости и повысить механические характеристики покрытий, в частности обеспечить более высокую усталостную прочность и более высокий уровень износостойкости. Более того, с использованием анодной полуволны с поверхности детали будет частично растворяться металлическое покрытие, которое происходит в максимальной степени интенсивно на уровне вершин дендритных насосов, обуславливающих возникновение шероховатостей покрытия, таким образом поверхность металлического слоя будет сглаживаться.

Для успешного выполнения поставленной задачи автор считает необходимым провести следующие исследования:

1. Исследование влияния элементов режима технологического процесса железнения с использованием асимметричного тока на свойства покрытий (микротвердость, дендритообразование, пittingобразование, равномерность) с целью определения оптимальных режимов электролиза.

Железнение в горячих хлористых электролитах на асимметричном токе является малоизученным процессом. Поэтому вначале необходимо было определить оптимальные режимы электролиза, определить наиболее эффективный коэффициент асимметрии, при котором достигается улучшение главных свойств покрытия без значительной потери производительности.

2. Исследование влияния формы асимметричного тока с точки зрения свойств покрытия и производительности.

Влияние формы асимметричного тока на процесс электролиза и свойства получаемого покрытия практически не встречается в научной литературе не только для железнения, но и для других гальванических процессов. Но форма асимметричного тока является одной из важнейших его характеристик,

поэтому было необходимо это исследование.

3. Исследование возможности применения более высокой плотности тока при электролизе на асимметричном токе.

В различных литературных источниках обосновывается возможность увеличения плотности тока при электролизе на асимметричном токе по сравнению с рекомендованной для постоянного тока. Это позволяет снизить или устранить главный недостаток асимметричного тока низкую производительность процесса электролиза. Это показывает на необходимость исследования применительно к процессу железнения в горячих хлористых электролитах.

4. Исследование стойкости лезвийного инструмента при обработке покрытия полученного на предлагаемом технологическом процессе железнения, а так же шероховатости обработанной поверхности.

Известным недостатком электролитических железных покрытий является трудность обработки их лезвийным инструментом, основным при обработке корпусных деталей [38]. Низкая стойкость резцов при обработке твердого гальванического железа является главной причиной ограниченного использования лезвийной обработки деталей восстановленных железнением. Особенно это важно при восстановлении деталей требующих высокую точность формы восстановленной поверхности. Шероховатость покрытия так же является важным показателем качества восстановленной детали. Этим объясняется необходимость проведения эксперимента о влиянии асимметричного тока на стойкость режущего инструмента и шероховатость обработанной поверхности.

5. Исследование стойкости рабочей поверхности шлифовального круга при обработке покрытия полученного на предлагаемом технологическом процессе железнения.

Методом обработки, обеспечивающим высокую производительность, точность и малую шероховатость обработанных поверхностей деталей восстановленных железнением является шлифование. Широкая практика применения твердого железа для восстановления для восстановления и

упрочнения деталей и исследования ряда авторов [8] показали, что при шлифовании железных имеющих гпа поверхности значительное количество дендритов имеет место засаливание абразивного инструмента, его износ и большая шероховатость. Поэтому необходимо установить влияние асимметричного тока на стойкость поверхности шлифовального круга. Схема общей методики исследования представлена на рисунке 1.3.



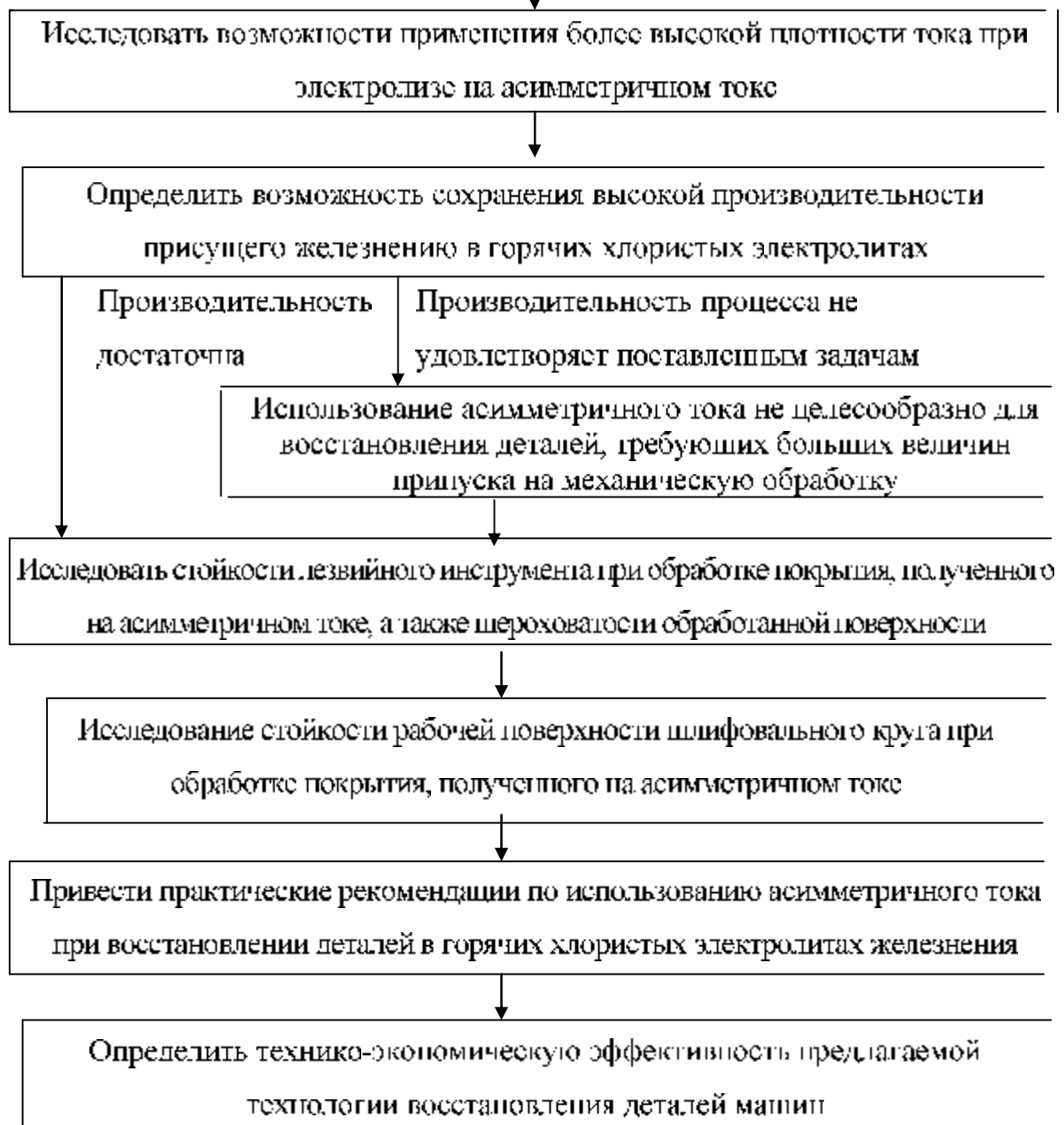


Рисунок 1.3 – Схема общей методики исследования

Выводы по разделу

1. Получаемые покрытия отличаются лучшей равномерностью, низкими внутренними напряжениями и наводороженностью.
2. Возможность использования более высокой плотности тока при электролизе на асимметричном токе повышает производительность процесса.
3. При обработке твердого железного покрытия необходимо учитывать его специфику при выборе режимов обработки, лезвийного инструмента.

2 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫМ

2.1 Анализ деформации картеров коробок передач по параметрам отклонения взаимного расположения рабочих поверхностей

Для определения влияния внутренних напряжений на деформацию картера коробки передач автомобиля КамАЗ, и как следствие нарушение взаимного расположения сопрягаемых поверхностей проведены замеры [118]. По полученным данным проведена оценка закона распределения.

2.1.1 Отклонение межосевых расстояний отверстий под подшипники

Результаты измерения новых картеров после их механической обработки показали, что все картеры имели отклонения по указанным параметрам, находящимся в пределах допусков на их изготовление. Новые же картеры, похранившиеся на складе после их механической обработки в течение шести месяцев, т.е. подвергшиеся естественному старению, по данному параметру вышли за допустимые пределы. Средние значения межосевых расстояний у этих картеров составляют: у переднего торца 133,16 мм, у заднего 133,21 мм при номинальном расстоянии 133,35±0,05.

На рисунке 2.1 изображены кривые, характеризующие колебания расстояния между осями верхних и нижних отверстий под подшипники у отремонтированных и старых картеров (Номинальные размеры заключены в рамку).

Статистический анализ результатов замера был проведен при помощи компьютерной программой «Статистика+». Полученные основные статистические характеристики выборки приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Так же проведена процедура проверки является ли данная выборка нормально распределённой. Проверка проводилась с использованием трех

критериев: Колмогорова-Смирнова / Лилифора, Шапиро-Уилка, Д'Агостино.

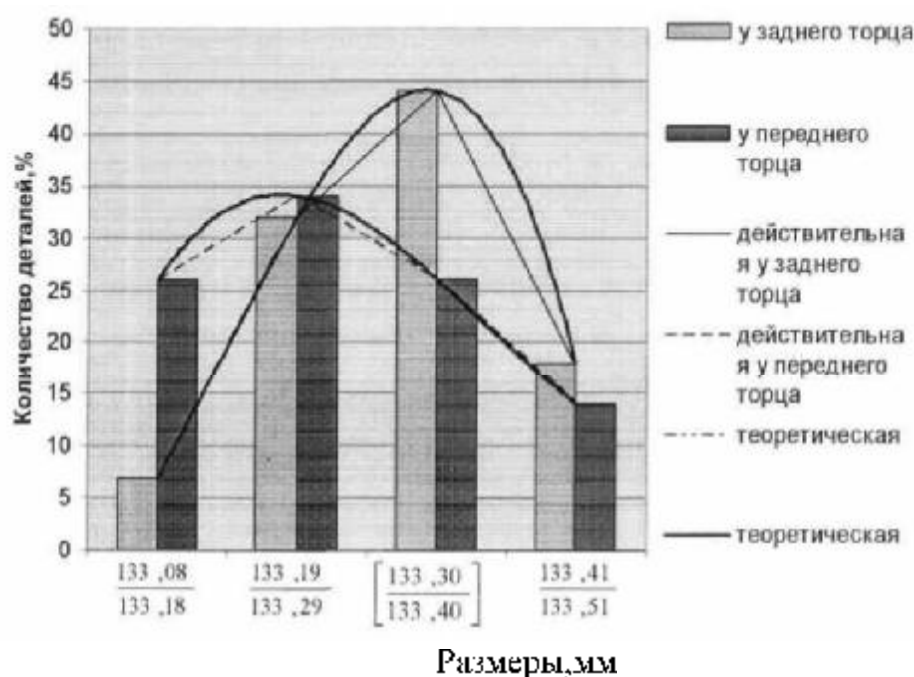


Рисунок 2.1 - Повторяемость расстояния между осями верхних и нижних отверстий в картере коробки передач

Таблица 2.1 - Описательная статистика для переднего торца картера

Число элементов ряда	100	LCL	133,2488
Среднее	133,2708	UCL	133,2928
Среднеквадратическое отклонение	0,110643	Асимметрия	0,256094
Стандартная ошибка (среднего)	0,011064	Стандартная ошибка асимметрии	0,238954
Минимум	133,13	Экспесс	1,968169
Максимум	133,46	Стандартная ошибка экспесса	0,463934
Диапазон (максимальное расстояние)	0,33	Альтернативная асимметрия (Фишера)	0,260011
Сумма	13327,08	Альтернативный эксцесс (Фишера)	-1,02286
Стандартная ошибка суммы	1,106426	Коэффициент вариации	0,00083
Сумма квадратов	1776112	Среднее отклонение	0,09416
Скорректированная сумма квадратов	1,211936	Второй момент	0,012119
Среднее геометрическое	133,2708	Третий момент	0,000342
Среднее гармоническое	133,2707	Четвёртый момент	0,000289
Мода	133,24	Медиана	133,24
Дисперсия	0,012242	Ошибка медианы	0,001387
		Уровень значимости	0,05

Таблица 2.2 – Проверка нормальности распределения для переднего торца картера

Размер выборки	100	Среднее	133,2708
Среднеквадратическое отклонение	0,110643	Медиана	133,24
Асимметрия	0,256094	Экссесс	1,968169
Альтернативная асимметрия (Фишера)	0,260011	Альтернативный эксцесс (Фишера)	-1,02286
	Значение статистики	Уровень значимости	Вывод: (5%)
Критерий Колмогорова-Смирнова /Диллифора	0		Никаких подтверждений против нормальности
Критерий Шапиро-Уилка	0,869333	6,59E-08	Нормальность отклонена
Д'Агостино Асимметрия	1,098538	0,27197	Нормальность принята
Д'Агостино Экссесс	-3,99779	6.39E-05	Нормальность отклонена
Д'Агостино общее	17,18913	0,000185	Нормальность отклонена

Критерий Колмогорова-Смирнова базируется на максимальном различии между эмпирической функцией и теоретической функцией распределения. Если статистика D значима, то гипотеза, что соответствующее распределение является нормальным, должна быть отклонена.

Критерий Шапиро-Уилка является одним из наиболее мощных в большинстве случаев. Статистика W вычисляется по формуле

$$W = b^2/S^2 \quad (2.1)$$

где $S^2 = \sum (x_i - \mu)^2$

$$b = \sum a_{n-i+1}(x_{n-i+1} - x_i) \quad (2.2)$$

где μ - среднее выборки

a_{n-i+1} некоторые константы

Чем ближе W к 1, тем меньше вероятность ошибочно принять гипотезу о нормальности распределения.

Д'Агостино (1990) описывает критерии нормальности основанные на

коэффициентах эксцесса и асимметрии, которые при нормальном распределении равны 3 и 0 соответственно. Статистики критериев основанных использующих коэффициенты эксцесса и асимметрии приблизительно (при $N > 20$) нормально распределены. Результаты расчета приведены в таблицах 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3 Описательная статистика для заднего торца картера

Число элементов ряда	100	LCL	133,2999
Среднее	133,3181	UCL	133,3363
Среднеквадратическое	0,09156	Асимметрия	-0,15645
Стандартная ошибка	0,009156	Стандартная ошибка	0,238954
Минимум	133,13	Эксцесс	2,396997
Максимум	133,46	Стандартная ошибка	0,463934
Диапазон (максимальное	0,33	Альтернативная	-0,15884
Сумма	13331,81	Альтернативный эксцесс	-0,57179
Стандартная ошибка суммы	0,915599	Коэффициент вариации	0,000687
Сумма квадратов	1777372	Среднее отклонение	0,076318
Скорректированная сумма	0,829939	Второй момент	0,008299
Среднее геометрическое	133,3181	Третий момент	-0,00012
Среднее гармоническое	133,318	Четвёртый момент	0,000165
Мода	133,35	Медиана	133,35
Дисперсия	0,008383	Ошибка медианы	0,001148
		Уровень значимости	0,05

Таблица 2.4 – Проверка нормальности распределения для заднего торца картера

Размер выборки	100	Среднее	133,3181
Среднеквадратическое отклонение	0,09156	Медиана	133,35
Асимметрия	-0,15645	Эксцесс	2,396997
Альтернативная асимметрия (Фипера)	-0,15884	Альтернативный эксцесс (Фипера)	-0,57179
	Значение статистики	Уровень значимости	Вывод: (5%)
Критерий Колмогорова-Смирнова/Лиллифора	0		Нет подтверждений против нормальности
Критерий Шапиро-Уилка	0,866731	5.19E-08	Нормальность отклонена
Д'Агостино Асимметрия	0,676489	0,49873	Нормальность принята
Д'Агостино Эксцесс	-1,48095	0,138621	Нормальность принята
Д'Агостино общее	2,650842	0,265691	Нормальность принята

Для построения теоретической кривой нормального распределения определим ординаты: максимальная ордината $y_{\max}$, ординаты точек перегиба $y_{2\sigma}$ и ординаты для точек $y_{2\sigma}$ и $y_{3\sigma}$.

$$y_{\max} = 0.4 \frac{n \cdot \Delta x}{\sigma}; \quad y_{2\sigma} = 0.24 \frac{n \cdot \Delta x}{\sigma}; \quad (2.3)$$

$$y_{2\sigma} = 0.085 \frac{n \cdot \Delta x}{\sigma}; \quad y_{3\sigma} = 0.014 \frac{n \cdot \Delta x}{\sigma}; \quad (2.4)$$

Определим поле рассеивания:

$$v = 6\sigma. \quad (2.5)$$

Для заднего торца $v = 0.55$, для переднего торца $v = 0.66$.

Расчеты показали, что 73,6% картеров вышли за пределы допуска на изготовление у переднего торца и 56,6% - у заднего торца картера.

2.1.2 Непараллельность осей верхних и нижних отверстий под подшипники

Этот параметр представляет собой разность между наибольшей и наименьшей величиной межосевого расстояния, полученного в результате измерения его у переднего и заднего торцов картера коробки передач (рисунок 2.2).

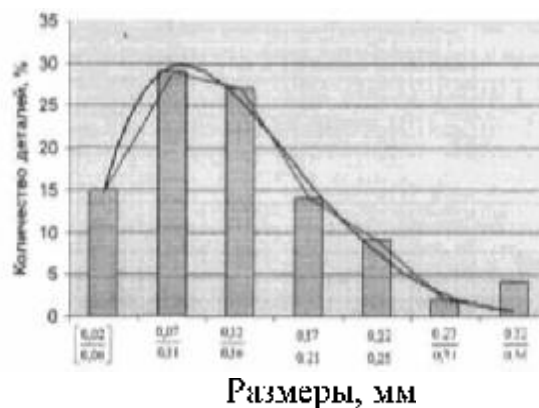


Рисунок 2.2 Повторяемость непараллельности осей верхних и нижних отверстий в картере коробки передач

Поле рассеивания $v = 0.45$. Результаты статистической обработки показаны в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 - Описательная статистика непараллельности осей картера

Число элементов ряда	100	LCL	0,122685
Среднее	0,1375	UCL	0,152315
Стандартное отклонение	0,074663	Асимметрия	0,854084
Стандартная ошибка (среднего)	0,007466	Стандартная ошибка асимметрии	0,238954
Минимум	0,04	Экссесс	3,41821
Максимум	0,34	Стандартная ошибка экссесса	0,463934
Диапазон (максимальное расстояние)	0,3	Альтернативная асимметрия (Фишера)	0,867146
Сумма	13,75	Альтернативный экссесс (Фишера)	0,502386
Стандартная ошибка суммы	0,746625	Коэффициент вариации	0,543
Сумма квадратов	2,4425	Среднее отклонение	0,0568
Скорректированная сумма квадратов	0,551875	Второй момент	0,005519
Среднее геометрическое	0,117556	Третий момент	0,00035
Среднее гармоническое	0,098046	Четвёртый момент	0,000104
Мода	0,09	Медиана	0,14
Дисперсия	0,005574	Ошибка медианы	0,000936
		Уровень значимости	0,05

Таблица 2.6 - Проверка нормальности распределения непараллельности осей картера

Размер выборки	100	Среднее	0,1375
Стандартное отклонение	0,074663	Медиана	0,14
Асимметрия	0,854084	Экссесс	3,41821
Альтернативная асимметрия (Фишера)	0,867146	Альтернативный экссесс (Фишера)	0,502386
	Значение статистики	Уровень значимости	Вывод: (5%)
Критерий Колмогорова-Смирнова/Лиллифора	0		Никаких подтверждений против нормальности
Критерий Шапиро-Уилка	0,898915	1,26E-06	Нормальность отклонена
Д'Агостино Асимметрия	3,308585	0,000938	Нормальность отклонена
Д'Агостино Экссесс	1,111383	0,266403	Нормальность принята
Д'Агостино общее	12,18191	0,002263	Нормальность отклонена

Из общего числа картеров 56,3% вышли за пределы допуска. Согласно техническим условиям на изготовление картера коробки передач допустимая непараллельность осей верхних и нижних отверстия под подшипники не должна превышать ОД 1мм. Из всех приведенных отклонений от технических условий по картеру коробки передач непараллельность осей верхних и нижних отверстий является наиболее опасной [88]. Наличие такого дефекта приводит к неправильному зацеплению шестерен. В результате снижается ресурс зубчатого зацепления и подшипников коробки передач.

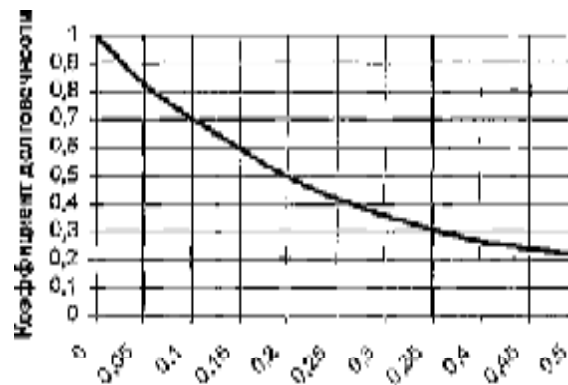
2.2 Влияние пространственной деформации коробки передач на работоспособность ее основных узлов

В настоящее время автомобили используются достаточно интенсивно и плодотворно. В подобной интенсивной эксплуатации происходит деформации картера коробки передач, что обусловлено тем, что остается остаточное напряжение провоцирующая в дальнейшем нарушения взаимного расположения рабочих поверхностей. Нарушается принцип параллельности и соосности валов, поэтому вал в результате таких изменений начинает подвергаться дополнительным нагрузкам, подшипники также подвергаются дополнительным нагрузкам, что провоцирует нарушение работы зубчатого зацепления шестерён. В ходе таких деформаций и негативных изменений можно услышать характерный шум при работе двигателя, а также данные процессы провоцируют снижение срока службы коробки передач.

В процессе расчета валов коробки передач и их размеры следует определять из соображений жесткости, но не прочности в силу чего параметр коэффициента запаса прочности может быть получен для них на достаточно высоком уровне, как минимум 5 или 10. За всю историю существования автомобильной индустрии использование в жизнедеятельности человека усталостной поломки в коробке передач и выявлены не были [74]. Именно по этой причине особенности влияния непараллельности на функционирование валов для нас интереса не представляют. Подшипниковые узлы в силу

появления трещины подвергается значительным негативным изменениям, что в конечном итоге провоцирует снижение их долговечности. После того как были проведены специальные расчеты особенности влияния показателя трещины посадочных гнезд подшипников качения указавшее негативное влияние было еще раз подтверждено [60]. На рисунке шесть продемонстрировано зависимость изменения коэффициента долговечности подшипника промежуточного вала от показателя трещины в качестве примера использовалась коробка передач от а/м КамАЗ-5320.

Отмечаются также существенные нарушения в работе зубчатого закрепления шестерён при нарушении параллельности валов. В данном случае отмечается возникновение повышенных показателей напряжения, которые оказывают влияние на зуб, что впоследствии провоцирует появление повышенного шума работы и уменьшение ресурсного потенциала агрегатов.



Величина отклонения от соосности отверстия, мм

Рисунок 2.3 – Изменение коэффициента долговечности заднего подшипника коробки передач автомобиля КамАЗ [60]

Рассчитаем, каким образом непараллельность осей валов влияет на ресурс коробки передач. В основу расчета положим гипотезу суммирования усталостных повреждений, в результате которого можно в соответствии с данными кривых усталости сформировать прогноз службы коробки передач.

Срок службы детали [69]:

$$L = \frac{a}{\omega_n \int_{s_{\min}}^{s_{\max}} \frac{f(s)}{N(s)} ds} \quad (2.5)$$

где α - коэффициент зависящий от материала зубчатого колеса;

ω_n - среднее число циклов на 1 км;

S_{max}, S_{min} - максимальное и минимальное значение напряжения зубчатого зацепления;

$f(s)$ - плотность распределения амплитуд напряжений s ;

$N(s)$ - уравнение кривой усталости.

Уравнение кривой усталости:

$$N = N_0 \left(\frac{S_{-1}}{s} \right)^m, \quad (2.6)$$

где N_0 - число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости;

S_{-1} - предел выносливости материала шестерни.

Для вычисления плотности распределения амплитуд напряжений необходимо определить его вид, используя критерий узкополосности процесса:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad (2.7)$$

где
$$m_0 = \int_0^\infty s(\omega) d\omega, m_2 = \int_0^\infty \omega^2 s(\omega) d\omega, m_4 = \int_0^\infty \omega^4 s(\omega) d\omega,$$

где $S(\omega)$ - спектральная плотность, описывающая нагрузочный режим зубчатого зацепления.

Спектральная плотность определяется по формуле:

$$s(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty K(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad (2.8)$$

где
$$K(\tau) = A e^{-a_1 \tau} + (1-A) e^{-a_2 \tau} \cos \beta \tau,$$

Коэффициенты $A = 0.2, a_1 = 6.08, a_2 = 1.63, \beta = 15.3$ определенные по точкам корреляционной функции на компьютере [69]. Отсюда получаем:

$$s(\omega) = \frac{2}{\pi} \left[\frac{A \alpha_1}{\alpha_1^2 + \omega^2} + (1-A) \alpha_2 \frac{\alpha_2^2 + \beta^2 - \omega^2}{(\omega^2 + \alpha_2^2 - \beta^2) + 4\beta^2 \omega^2} \right], \quad (2.9)$$

По результатам расчетов критерий узкополосности процесса $\varepsilon = 0.81$, следовательно, распределение является нормальным и рассчитывается по

формуле:

$$f(s) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{s^2}{2\sigma_s^2}}, \quad (2.10)$$

где σ_s - среднеквадратическое отклонение нагрузочного процесса.

Параметр срока эксплуатации зубчатых колес:

$$L = \frac{4.802 \cdot 10^{15}}{s^4} \text{ (км)}, \quad (2.11)$$

Параметр контактного напряжения зубчатого зацепления вала:

$$s = K_H \sigma_H, \quad (2.12)$$

где σ_H - параметр контактного напряжения зубчатого зацепления в случае параллельного расположения валов,

$K_{H\beta}$ - значение поправочного коэффициента параметров концентрации нагрузок, спровоцированных несоосностью валов.

Параметр контактного напряжения σ_H в случае присутствия параллельного расположения опор можно рассчитать при помощи формулы [64]:

$$\sigma_H = 0.418 \sqrt{\frac{PE}{b \cos \alpha} \left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho'} \right)}, \quad (2.13)$$

где P - параметр окружного усилия,

E - параметр модуля упругости (сталь $2,2 \cdot 10^4$ МПа),

b - параметр ширины шестерни.

Параметр окружного усилия P можно рассчитать используя формулу:

$$P = \frac{M}{r}, \quad (2.14)$$

где M - значение крутящего момента на валу,

r - значение радиуса делительной окружности шестерни.

Если требуется установить контактное напряжение в полосе зацепления соответственные радиусы кривизны поверхности зуба у косозубых шестерен можно рассчитать воспользовавшись выражениями:

$$\rho = r \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \beta}; \quad \rho' = r_1 \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \beta}. \quad (2.15)$$

При определении значений $K_{H\beta}$ основой считается [65], что присутствует линейная зависимость $\delta x \sim qx$ и контактной деформации цилиндров δx от показателя удельной нагрузки qx в текущем участке оси ОХ (начало оси ОХ отмечается в торцевой плоскости и при этом оно совпадает с номинальной линией касания) и не отмечается наличие влияния радиусов кривизны цилиндров, а значение коэффициента удельной жесткости при этом для находящихся в контакте тел из одного и того же материала $Cq=qx/\delta x=const$.

Значение поправочного коэффициента концентрации нагрузки $K_{H\beta}$ можно определить при помощи формулы:

$$K_{H\beta} = 1 - \frac{0.5lC_q\gamma_{rp}}{q_m}; \quad (2.16)$$

где l – значение длины номинальной линии касания находящихся в контакте тел;

γ_{rp} – значение полных углов перекося и непараллельности между осями;

q_m – параметр удельной нагрузки в случае идеально-равномерного распределения вдоль номинальной линии касания контакта.

Значение длины номинальной линии касания контактирующих тел l можно рассчитать, используя формулу:

$$l = \frac{b}{\cos \beta}. \quad (2.17)$$

Параметр удельной нагрузки нагрузка в случае идеально-равномерного распределения вдоль номинальной линии касания контакта q_m :

$$q_m = \frac{P}{l}. \quad (2.18)$$

Значения полных углов перекося и непараллельности между осями γ_{rp} :

$$\gamma_{rp} = 0.0174533 \cdot \arctg \frac{n}{d}; \quad (2.19)$$

где n – значение величины непараллельности;

d – параметр расстояния между опорами подшипников вала.

Зависимость параметров контактного напряжения зубчатого зацепления

промежуточного вала и непараллельности осей валов, можно выразить в виде следующего выражения:

$$s = 435.81 - 1644.91 \arctg \frac{n}{500} . \quad (2.20)$$

Конечная формула, демонстрирующая зависимость срока службы зубчатого колеса от непараллельности осей валов (рис. 2.3):

$$L = \frac{4.802 \cdot 10^{15}}{\left(435.81 + 1344.91 \arctg \frac{n}{500} \right)^4} . \quad (2.21)$$

Срок службы зубчатого колеса, км

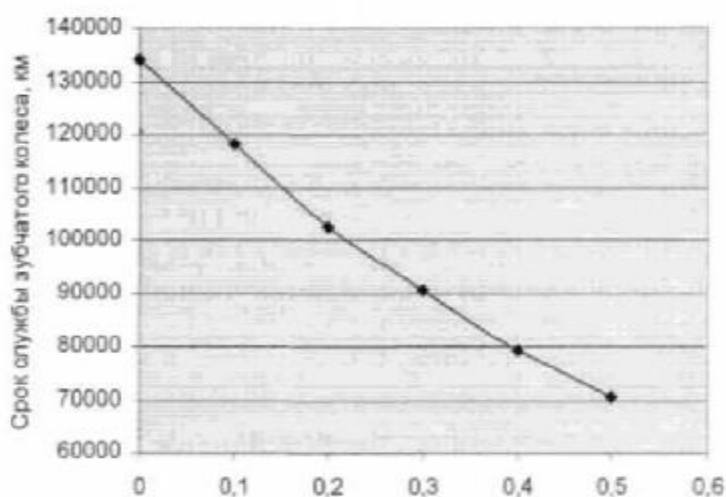


Рисунок 2.3 – Влияние непараллельности осей валов на ресурс зубчатого колеса

2.3 Расчет необходимой толщины покрытия для восстановления посадочных гнезд под подшипники картера коробки передач

Ранее в работе мы уже определили, что в течение жизни автомашины присутствующие в ее механизме посадочные гнезда, в которых располагаются подшипники коробки передач, подвергаются существенным деформациям и интенсивному износу. Ко всему прочему, так как отмечается и деформация картера коробки передач, отмечается нарушение взаимного расположения и соответственно, всё это в конечном итоге провоцирует

образование значительных перекосов и непараллельности осей валов. В результате возникновения такой непараллельности коробки передач стремительно изнашиваются, так как отмечается явление форсированного износа. По этой причине, если необходимо рассчитать толщину покрытия в данном случае следует принимать во внимание необходимость ликвидации пространственной деформации картера коробки передач путём повышения показателя припуска для механической обработки.

В своем исследовании в качестве примера выберем автомобили КамАЗ и рассчитаем для него толщину покрытия для первичного вала КПП. Параметр толщины в данном случае в своём составе содержит параметр величины износа, параметр припуска на обработку до и после того как будет нанесено покрытие и рассчитать его можно применив формулу:

$$h = \delta'' + x + \alpha(z_1 + z_2); \quad (2.22)$$

где h - необходимос значение толщины покрытия (на сторону), мм;

δ'' - максимальный износа на сторону, мм;

x - припуск для осуществления окончательной механической обработки до нанесения покрытия, мм;

α - угол смещения центра посадочного гнезда подшипника который требуется для того чтобы компенсировать деформацию картера коробки передач, мм.

По результатам многостороннего анализа ремонтного фонда в среднем $\alpha = 0.6$ мм [9];

z_1 - припуск для проведения предварительной механической обработки после того как будет осуществлена процедура нанесения покрытия;

z_2 - припуск для осуществления окончательной механической обработки после того как будет нанесено покрытие.

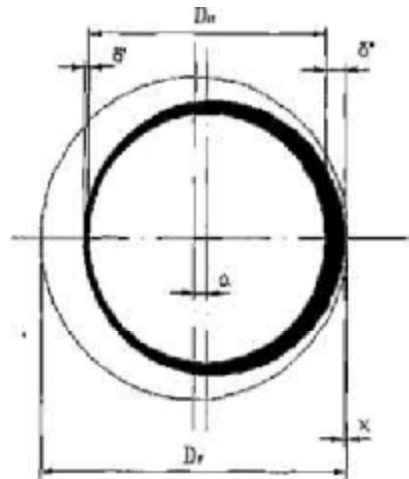
На рисунке 2.4 изображена схема, служащая для определения припуска на обработку до нанесения покрытия.

При измерении детали трудно определить величину максимального износа детали на сторону. Чтобы упростить пользование этими формулами, применим коэффициент неравномерности износа ρ , который определяется

отношением максимального износа детали на сторону к величине общего износа (по диаметру). Для посадочных гнезд коробки передач $\rho = 0,9$ [9]. Если минимальный износ детали на сторону обозначим через δ' , то общий износ δ будет равен сумме $\delta = \delta' + \delta''$, а коэффициент неравномерности износа:

$$\rho = \frac{\delta'}{\delta} \quad (2.23)$$

$$\delta'' = \rho \delta \quad (2.24)$$



D_n - первоначальный диаметр отверстия

D_p - диаметр отверстия до нанесения покрытия

Рисунок 2.4 - Определение припуска на обработку до нанесения покрытия

Среднестатистическая величина износа посадочного отверстия ($\delta=0,2$) мм по данным анализа технического состояния поступающих в ремонт картеров КПП [61,62]).

Окончательной обработкой до нанесения покрытия служит развертывание посадочных гнезд под подшипники. На рассматриваемой операции необходимо удалить погрешности формы поверхности и создать шероховатость обеспечивающую надежного сцепления покрытия с основой. Операцией предшествующей окончательной обработке посадочных гнезд КПП является предварительное растачивание. Формула для определения припуска на окончательную обработку имеет следующий вид:

$$x = R_z - T_1 - \sqrt{\rho_1^2 - \varepsilon_{y1}^2}; \quad (2.25)$$

где R_z , T_1 и ρ_1 - соответственно высота неровностей профиля, глубина

дефектного поверхностного слоя и суммарное значение пространственных отклонений поверхности, ε_{y1} - погрешность установки детали на выполняемой операции (т.к. обработка отверстия выполняется самоустанавливающимся инструментом – разверткой, то $\varepsilon_{y1}=0$).

Развертывание обеспечивает $R_z = 0,005 \text{ мм}$; $T_1 = 0,02 \text{ мм}$ [63]. Т.к. окончательной обработкой решаются задачи уменьшения шероховатости и устранения дефектного слоя, а не повышение точности то $\rho_1=0$.

Припуск на предварительную и окончательную механическую обработку после нанесения покрытия определяем по формулам [63]:

$$z_1 = \frac{0.07 + 0.063\sqrt[3]{D_p}}{2}; \quad (2.26)$$

$$z_2 = \frac{0.099 + 0.063\sqrt[3]{D_p}}{2} \quad (2.27)$$

Диаметр отверстия до нанесения покрытия D_p рассчитывается по формуле:

$$D_p = D_H + \rho\delta + x - a, \quad (2.28)$$

где $D_H=150 \text{ мм}$ диаметр посадочного гнезда первичного вала картера КПП автомобиля КамАЗ.

Результаты расчета показали, что для восстановления посадочного гнезда первичного вала картера коробки передач необходимо нанести покрытие толщиной $h = 1,224 \text{ мм}$.

2.4 Влияние микротвердости железного покрытия на износ лезвийного инструмента при обработке

Использование асимметричного тока при электролизе приводит к снижению наводороженности покрытия, что в свою очередь приводит к уменьшению микротвердости покрытия. Определим влияние микротвердости на стойкость лезвийного инструмента при обработке железного покрытия.

Скорость резания при обтачивании и растачивании резцами из твердых сплавов рассчитывают по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_v \quad (2.29)$$

Отсюда стойкость инструмента:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v}{v t^{x_v} s^{y_v}} K_v} \quad (2.30)$$

где обобщающий скоростной коэффициент

$$K_v = K_0 K_m K_H K_\varphi K_\delta K_\epsilon \quad (2.31)$$

Поправочные скоростные коэффициенты в формуле учитывают: K_0 - обрабатываемость материала; K_m - твердость обрабатываемого материала; K_H - марку твердого сплава; K_φ - величину главного угла в плане резца; K_δ - степень изношенности главной поверхности резца; K_ϵ - состояние поверхности детали перед обработкой.

Коэффициент K_m учитывающий твердость обрабатываемого покрытия находят по формуле:

$$K_m = \left(\frac{M_n}{M_i} \right)^{n_v}; \quad (2.32)$$

где M_n - микротвердость железного покрытия полученного на постоянном токе при стандартных режимах железнения;

M_i - микротвердость исследуемого железного покрытия.

Коэффициенты K_δ и K_ϵ примем равными единице, так как не нужно учитывать состояние резца и покрытия до обработки. Тогда окончательная формула примет вид:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v M_n^{n_v}}{v t^{x_v} s^{y_v} M_i^{n_v}} K_0 K_H K_\varphi} \quad (2.33)$$

Определим зависимость стойкости инструмента от микротвердости покрытия для определенных режимов обработки.

Показатель степени $n_v=2,2$ так как железное покрытие обладает малой пластичностью и при обработке даст стружку надлома. Значения C_v , x_v , y_v берутся из справочной литературы [66]. Показатель степени m 0,3 из-за низкой стойкости резцов при обработке твердого железа [66]. Для режимов

обработки рекомендованных для твердого железа ($v=19,8$ м/мин; $s=0.12$ мм/об; $t=0.2$ мм [8]) получаем следующую зависимость:

$$T = \frac{5.33 \cdot 10^7}{M_t^{1.93}}. \quad (2.34)$$

Результаты расчета приведены на рисунке 2.5.

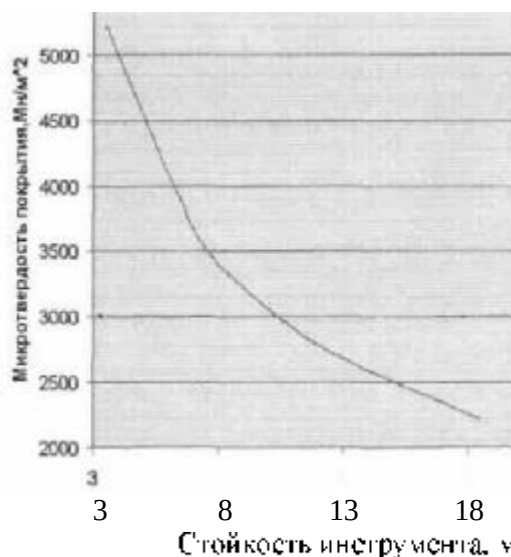


Рисунок 2.5 - Зависимость стойкости инструмента от микротвердости покрытия

2.5 Определение возможности обработки железного покрытия протягиванием

При существующем технологическом процессе ремонта корпусных деталей не только не восстанавливаются все геометрические параметры, но часто усугубляются те погрешности во взаимном расположении сопрягаемых поверхностей, которые имеются в этих деталях за счет деформаций при поступлении их в ремонт.

Для этого взаимное расположение сопрягаемых поверхностей всех базисных деталей, предназначенных после их дефектовки к ремонту, нужно проверять. При обнаружении отклонений взаимного расположения отверстий их следует обрабатывать с помощью борштанг или протягиванием. После нанесения железного покрытия его необходимо обрабатывать аналогичным способом. Но если возможность растачивание при помощи борштанг не

вызывает вопросов, то протягивание вызывает значительные усилия резания которые стремятся оторвать покрытие от основы. Для определения возможности применения протягивания при обработке отверстий необходимо рассчитать эти силы.

Удельная сила резания при протягивании определяется выражением [66]:

$$p = \frac{C_p}{a^k} K_r K_\alpha K_m K_s; \quad (2.35)$$

где C_p - постоянный коэффициент, зависящий от рода и механических свойств обрабатываемого материала, а $K_r K_\alpha K_m K_s$ - поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно величину переднего угла, заднего угла, применяемую СОЖ и допустимый износ задней поверхности зубьев протяжки. Показатель степени k в зависимости от рода обрабатываемого материала лежит в пределах 0,15...0,3 [66]. Подставляя выражение для p и производя преобразования, получим

$$P_z = C_p s^{1-k} b K_p; \quad (2.36)$$

где

$$K_p = K_r K_\alpha K_m K_s. \quad (2.37)$$

Суммарная сила

$$P_{\Sigma} = C_p K_p \sum_{i=1}^m s^{1-k} b. \quad (2.38)$$

Формула позволяет определить суммарную силу в любой момент резания протяжкой. Из нее следует, что даже при постоянном подъеме s_z зубьев суммарная сила во время протягивания не будет оставаться постоянной из-за изменения ширины срезаемого слоя и числа зубьев m , одновременно находящихся в резании. Для определения возможности обработки протяжкой железного покрытия необходимо знать максимальную суммарную силу. После преобразований эта формула имеет вид

$$P_{\Sigma \max} = C_p K_p s^{y_p} b_{\max} m_{\max}. \quad (2.39)$$

В формуле $y_p = 1-k$. Расчет по формуле (2.39) дает несколько завышенное значение суммарной силы.

Применительно к крутым протяжкам выражение (2.39) примет вид:

$$P_{\text{з.тв}} = C_f K_f s^{y_f} D_{\text{max}} m_{\text{max}}. \quad (2.40)$$

Рассчитаем $P_{\text{зсум}}$ для отверстия под подшипник первичного вала картера коробки передач автомобиля КамАЗ: $D_{\text{max}}=150\text{мм}$, $m_{\text{max}}=5$. Поправочные коэффициенты: $K_f=1.13$ для $y=6\dots 8^\circ$; $K_\alpha=1.2$ для $\alpha \leq 1^\circ$; $K_\omega=1.13$ при охлаждении 10%-ной эмульсией; $K_\beta=1.15$ при ширине износа задней поверхности зубьев протяжки $\delta=0.3\text{ мм}$. Получаем $P_{\text{зсум}}=505427\text{ Н}$. Что вызывает напряжения отрыва в покрытии:

$$\sigma = \frac{P_{\text{зсум}}}{s} = 28,6\text{ МПа}. \quad (2.41)$$

Показатели прочности сцепления железного покрытия и чугуна могут достигать от 60 до 170 МПа [67] в зависимости от марки чугуна и методов, использовавшихся для подготовки покрытия, соответственно применение метода протягивания в целях обработки железного покрытия может быть осуществлено, и не спровоцирует отрыв.

2.6 Влияние газовой фракции на дефекты и равномерность распределения металлопокрытия

В целях осуществления процедуры осаждения электролитического железа и других сплавов, в основе которых присутствует железо, используется кислые электролиты. В ходе выделения металла на поверхности катода, одновременно также можно наблюдать в течение реакции восстановления водорода [11,93,89]. Таким образом, в электролите начинают образовываться пузырьки газа, поэтому проводимость тока в нём в разы сокращается [51,52]. Таким образом возникает ситуация при которой происходит неравномерное распределение пузырьков газа в электролите, в результате чего, ток на катоде также распределяется неравномерно [54,55].

Пузырьки газа также могут прилипнуть к поверхности электрода, и долгое время оставаться на нём [54,55]. В силу чего происходит снижение значения фактической поверхности электрода, а также изменяется показатель

потенциала электрода, отмечаются изменения в поляризационных параметрах электролита.

Длительная задержка газовых пузырьков на поверхности катода при электроосаждении металлов вызывает образование пиллинга. Вместе с тем выделение пузырьков газа, создавая конвективные потоки, способствует интенсивному перемешиванию слоев электролита, непосредственно прилегающих к электроду. Это приводит к ускорению доставки ионов к электроду, что в результате уменьшает электродную поляризацию.

Как было установлено в ходе экспериментов, в случае железнения образцов, вне зависимости от базового показателя кислотности электролита, процедура осаждения железа, может начаться только после того как предельный ток достигнет выделения водорода [59,60]. Показатели скорости, с которыми будет выделяться железо и водород обуславливаются режимом регистр электролиза, показателями pH, плотности тока ($\Delta k \text{ A/дм}^2$), показателями температуры электролита (1°C), природы происхождения соли железа, и присутствием в составе электролита добавок. Таким образом, скорость, с которой выделяется водород при варьировании условий электролиза, может изменяться от минимальных значений до десятков процентов от показателя скорости поляризации катода. Зародыш пузырька газа находится под влиянием подъемной силы и силы поверхностного натяжения. Связь, которая отмечается между подъемной силой и размером пузырька можно представить в следующей формуле[69]:

$$F = \frac{4}{3}(\pi r^3 \rho g), \quad (2.42)$$

где r — значение радиуса пузырька;

ρ — значение плотности электролита;

g — параметр ускорения силы тяжести.

Так как в данном случае объем водородного пузырька сравнительно невелик, то силы F не хватит для выполнения работы по отрыву его от электрода. После роста электрода F повышется и в случае достижения им определенного значения его радиуса, уже в состоянии оторвать пузырек водорода от поверхности.

Характеристики формы и размеры отрывающейся газовой фракции зависят от показателя поверхностного натяжения. На рис. 2.6 графически продемонстрирован пузырек водорода γ , адсорбция которого происходит на поверхности катода α в составе раствора электролита β . Значение равновесия пузырька зависит от показателей натяжений между фазами на 3 поверхностях: электролит - газ ($\sigma_{\beta\gamma}$); катод - электролит ($\sigma_{\alpha\beta}$) и газ - твердое тело ($\sigma_{\alpha\gamma}$) [69]. Водородный пузырик не изменит своей формы, иными словами краевой угол θ будет иметь постоянное значение, в ситуации, когда силы оказывающие влияние в точке касания трех фаз (жидкой, твердой и газовой) будут взаимно уравниваться. Равновесие будет соблюдаться при выполнении следующего равенства [66]:

$$\sigma_{\alpha\beta} + \sigma_{\beta\gamma} \cos \theta = \sigma_{\alpha\gamma}. \quad (2.43)$$

или

$$\cos \theta = (\sigma_{\alpha\gamma} - \sigma_{\alpha\beta}) / \sigma_{\beta\gamma} \quad (2.44)$$

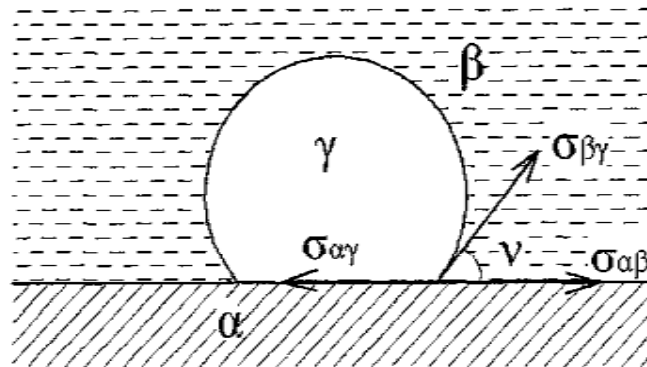


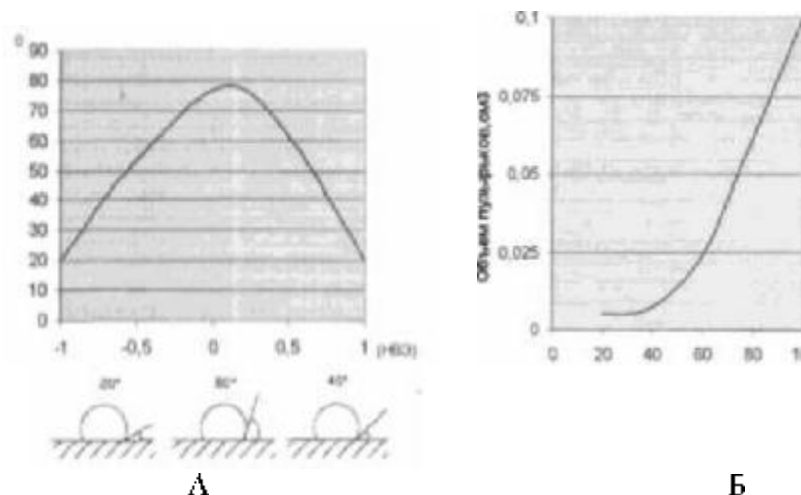
Рисунок 2.6 Равновесие газового пузырька на поверхности твердого электрода

Показатели натяжений между фазами обуславливают развитие двух ситуаций, при которых краевой угол θ будет велик или мал. В первой ситуации форма пузырька будет плоской, и поэтому она начнет вытеснять электролит с катода; во второй ситуации пузырек будет иметь форму шара, таким образом, электролит начнет вытеснять газ с катода. Понятно что, в случае изменения потенциала должна претерпеть изменения и величина $\sigma_{\alpha\beta}$. Показатель натяжения $\sigma_{\alpha\gamma}$ также может претерпеть некоторые изменений с поляризацией в силу присутствия в данном процессе адсорбционной пленки

электролита на поверхности σ/γ , в которой должен присутствовать двойной слой, и тем не менее данное изменение будет сравнительно мало. Показатель притяжения на σ_{eff} от потенциала не зависит ни в какой мере. Так, отслеживая изменения угла θ в случае изменения потенциала можно отслеживать изменения, которые происходят в величине σ_{eff} .

Характерные черты происходящих в краевом угле смачивания изменений в зависимости от показателей потенциала электрода и в зависимости от размеров пузырьков графически продемонстрированы на рисунке 2.7 [66]. Пузырьки, обладающие наибольшими размерными параметрами, могут выделяться уже тогда, когда потенциал электрода будет близок к потенциалу 0 разряда. В данном случае краевой угол смачивания будет демонстрировать максимальный показатель, графически информация представлена на рисунке 2.7а.

Краевой угол θ и размеры пузырьков газа будут снижаться в случае наличия более электроотрицательного и электроположительного потенциала электрода если сравнивать его с потенциалом 0 разряда. Газовые пузырьки будут увеличиваться в объеме при достижении показателя $\theta \rightarrow 60^\circ$ в соответствии с параболической зависимостью, начав со значения θ 20° , графический информация представлена на рисунке 2.7б.



А - зависимость краевого угла смачивания от потенциала электрода

Б - зависимость размера газовых пузырьков от потенциала электрода

Рисунок 2.7 - Зависимость размера газовых пузырьков от потенциала электрода

При электролизе на асимметричном токе происходит изменение потенциала на катоде соответственно изменению тока. Это приводит к колебанию значения краевого угла смачивания пузырька водорода и как следствие и его размера. Эти колебания способствуют отрыву пузырька с поверхности покрытия снижая тем самым вероятность образования пеггинга и наводороженности покрытия.

В процессе изучения теории в которой анализируются вопросы электроосаждения элементов железа а также протекающих одновременно с этим процессом изменений появились предпосылки для формирования гипотезы, в которой озвучивается, что в случае осаждения на асимметричном токе металла, показатели равномерности осаждения зависят от некоторых особенных характеристик, которых при использовании постоянного тока не наблюдается. Первым признаком является наличие периодической деполаризации катода в рамках полупериода анодного тока, второй признак заключается в том, что происходит периодический процесс анодной обработки металлических напылений. Показатели скорости осаждения металла за период катодного процесса на участках детали, которые располагаются на максимально близком расстоянии к анодом, будет более высоким, если сравнивать его с показателями регистрируемыми на удалённых от анода участках, тем не менее, за совокупный период анодного полупериода наиболее высокий слой металла можно будет наблюдать на приближенных к анодам отрезках поверхности, в силу этого будет происходить больше или меньше и выравнивание слоя покрытия, иными словами здесь будет происходить процесс повышения равномерности осадка [28,64-68]. При использовании анодной полуволны активизируется процесс десорбции водорода, которые присутствуют на поверхности изделий и, таким образом обеспечивается ликвидация пеггинга, или водородной пористости, так как этот вид брака в настоящее время практически не исследован.

Для того чтобы подтвердить гипотезу о сокращении уровня образования дендритов то в процессе электролиза с использованием асимметричного тока автор настоящего исследования провел исследование в рамках которого был

реализован эксперимент для определения уровня влияния асимметричного тока на процессы водородной десорбции, и соответственно на снижение образования питтинга [37]. Покрытие на изделия были нанесены на три образца с использованием постоянного тока и при наличии коэффициента асимметрии варьирующегося от 0 до 10 с использованием одинаковых режимов железнения: состав электролита: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 300 г/л, pH 1.3...1.4; плотность тока: $60 A/dm^2$; температура электролита: $70 \pm 1,0^\circ C$.

Продолжительность электролиза выбиралось в соответствии с необходимостью получения покрытия толщиной 0,5 мм на сторону. Режимы электролиза были выбраны такими, для гарантированного образования питтинга в покрытии. Поэтому плотность тока выше рекомендованной и температура и кислотность электролита ниже. Величина катодно-анодного показателя (коэффициента асимметрии), при электролизе на асимметричном токе, выбрана в соответствии с рекомендованной для других гальванических процессов [35].

На образцах, покрытие которых проводилось при асимметричном токе, количество питтинга на единицу площади поверхности составило 4 на 1 см^2 , а при постоянном токе 7,1 на 1 см^2 . При этом средний размер питтинга при асимметричном токе меньше в три раза.

Проведённый эксперимент подтвердил теоретические предпосылки о снижении питтинга при электролизе на асимметричном токе. Положительные результаты эксперимента позволили поставить работу, направленную изучение влияния асимметричного тока в совокупности с другими режимами железнения на свойства покрытия, с конечной целью расширения номенклатуры деталей восстанавливаемых твердым электролитическим железом в горячих хлористых электролитах, с включением в неё как имеющих большой износ, так и требующие увеличения припуска на механическую обработку для восстановления координатных размеров. При этом следует, по возможности, сохранить высокую производительность присутствующую процессу железнения в горячих хлористых электролитах на постоянном токе.

ВЫВОДЫ

1. Анализ деформации картеров коробок передач показал, что 56,3% агрегатов не соответствуют техническим условиям на изготовление по значениям непараллельности осей валов и 73,6% по значениям межосевых расстояний.
2. Результаты расчета показали, что для восстановления посадочного гнезда первичного вала картера коробки передач необходимо нанести покрытие толщиной $h=1,224$ мм.
3. Теоретические предпосылки показывают, что при электролизе на асимметричном токе осаждение железа должно происходить более равномерно с меньшим количеством и размером дендритов и пониженной вероятностью образования пittingа.
4. Проведенный поисковый эксперимент подтвердил положительное влияние асимметричного тока на снижение пittingа. Количество пittingа на единицу площади покрытия полученного на асимметричном токе в 1,8 раза меньше чем у покрытия полученного на постоянном токе.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1 Выбор оборудования, материалов и режимов электролиза

Выбор электролита. Осадки электролитического железа могут быть получены как в кислых, так и в щелочных электролитах.

Щелочные электролиты по сравнению с кислыми имеют более высокую рассеивающую способность и меньшую коррозионную активность [39]. Но низкая рекомендуемая плотность тока (2 А/дм^2) и сложный состав щелочных электролитов не позволяют ориентироваться на них при выборе электролита, пригодного для восстановления деталей.

Исследования Мелкова М.П. [40,41] показали, что из различных по составу кислых электролитов наиболее отвечают требованиям ремонтного производства хлористые электролиты. Применение их дает возможность получать осадки высокими механическими свойствами при большой плотности тока ($60...80 \text{ А/дм}^2$) и, следовательно, большой производительности процесса.

Другие типы кислых электролитов позволяют работать при более низких плотностях тока: серпокислые - до 15 А/дм^2 [42], а борфтористоводородные и фетолсульфоновые - до 12 А/дм^2 [42,43], что значительно снижает производительность процесса.

Процесс получения покрытий в хлористых электролитах отличается большой стабильностью, изменением условий электролиза можно в широких пределах регулировать свойства осадков. Простота состава электролита облегчает их производственный контроль.

Основные характеристики, которые обуславливают эффективность или и или неэффективность электролитов заключаются в: концентрации хлористого железа ($C_{\text{железа}}$), плотности ρ , кинематической вязкости ν , удельной электропроводимости k .

Между показателями плотности электролита и показателем концентрации хлористого железа можно выявить наличие прямо

пропорциональной зависимости (варианты плотностей удаюсь получить с использованием температуры раствора 15,5 °С); ρ вариативность изменения от 1,06 до 1,40 г/см³ в случае изменения параметров концентрации от 106 до 686 г/л.

Показатели вязкости электролита находится под влиянием показатели концентрации $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ и параметров температуры раствора. Если показатель концентрации $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ до 400 г/л удельная электропроводимость повышается и получает максимальное значение в случае указанной концентрации. Увеличение значения концентрации в дальнейшем уровень электропроводимости сокращается. Показатели скорости осаждения в железом можно определить, используя данные таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Скорость осаждения железа (мкм/ч) в зависимости от Дк и ВТ

Дк А/дм ²	ВТ, %				Дк А/дм ²	ВТ, %			
	80	85	90	95		80	85	90	95
1	10,6	11,3	12,0	12,7	20	212	226	240	253,6
3	31,8	33,9	36,0	38,0	30	318	339	360	380,4
5	53,0	56,5	60,1	63,6	40	424	452	480	507,2
10	106,0	113,0	120,0	126,8	50	530	565	601	635,0

В настоящее время в практической деятельности специалисты предпочитают использовать 4 вида хлористых электролитов, которые отличаются в зависимости от уровня концентрации соли железа (200...320 г/л); II – среднеконцентрированные с оптимальной концентрацией (300...350 г/л) (псевдостационарные); III – среднеконцентрированные (400...450 г/л); IV – высококонцентрированные (600...680 г/л).

Мало концентрированный электролит I типа в настоящее время активно используется при необходимости восстановления деталей и элементов с использованием твердого железа, как правило, методика активно применяется на базе авторемонтных заводов. Характеристики процесса следующие: температура от 60 до 80 градусов Цельсия, плотность тока составляет от 30 до 50 А/дм². В таком случае можно получить покрытие высокой твердости IIV –

450...650, и имеющие толщину 0,8...1,5 мм при этом такие покрытия отличаются своей гладкостью и плотностью. На толщину покрытия влияет появление на поверхности возможных шероховатостей и дендритообразования, и возникать они будут в большей скорости если будет повышаться плотность тока и снижаться температура электролита. Показатель толщины осаждаемого вещества можно в существенной мере повысить в случае использования методики повторного нанесения покрытия на изделия, после того как будет проведен процесс предварительной механической обработки.

Среднеконцентрированный электролит 2 типа активно применяется при необходимости восстановления деталей, которые характеризуются высоким уровнем износа и относительно малой твердостью. При использовании данного электролита можно получать гладкие и плотные покрытия, толщина которых будет составлять до 2 мм, а показатель твердости будет составлять $HV=250...450..$

В настоящее время проводятся первые опыты для использования этого электролита при восстановлении железным напылением посадочные поверхности под подшипники в корпусных элементах.

Высокая концентрированный электролит 3 типа в условиях повышенной температуры, варьирующиеся от 75 до 95 градусов Цельсия и сравнительно не высоким показателем плотности тока позволяет получать мягкие и вязкие покрытия, толщина которых составляет от 2 до 3 мм и более, а показатель твердости составляет $HV=120...200$. С использованием указанного электролита представляется возможным получать также твердое покрытие твердость которых будет составлять до $HV=600$, но при этом они будут отличаться больше шероховатостью, если сравнивать их с покрытиями, которые были получены и от из электролитов имеющих меньшую концентрацию железа.

Электролит 4 типа демонстрирует в сравнении с остальными электролитами значительное преимущество, и использовать его можно достаточно широко. Осаждение железа с использованием кислых хлористых

электролитов может быть реализовано путем использования растворимых анодов, которые производят с использованием низкоуглеродистых сталей.

Процессы растворения анодов могут быть осуществлены при использовании химического и электрохимического метода. В случае маленькой плотности тока от процесса растворения анодов протекает с большей скоростью и в случае когда $J_k=5\text{ A/дм}^2$ анодный выход может достигать 144...208 %. Если происходит повышение плотности тока до 20 A/дм^2 происходит снижение одно одного выхода по току и в случае дальнейшего повышения показателей плотности тока анодный выход практически не претерпевает изменения. Процедура осаждения железа с использованием хлористых электролитов малой концентрации, а также с использованием растворимых анодов протекает в условиях избыточного растворения анодов и в условиях избыточного накопления железа в электролите. Несмотря на достаточно высокие плотности тока, показатели скорости растворения стальных анодов выше показателя скорости осаждения железа на поверхности катода приблизительно на 15-20% подобное повышение концентрации хлористого железа в определённой мере может быть компенсировано за счёт потери электролита при функционировании ванны.

В составе электролита имеющего содержание $\text{FeCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 300...350 г/л показатели анодных и катодных выходов железа по току практически одинаковые, и показатель концентрации железа в электролите также практически не претерпевают изменения[62,63]. Показатели кислотности электролита, которая отражает водородный показатель, представляют собой ключевой критерий от одной процедуры осаждения железа при помощи электрического тока. В случае если кислотность электролита снижается он приобретает мутный оттенок так как гидроксиды выпадают в осадок в виде хлопьев. В случае повышения показателя кислотности электролита сокращается объем выхода железа по току. В силу этого показатели кислотности электролита лучше всего поддерживать на минимальном значении.

В ситуации, в которой присутствуют высокие плотности тока показатели скорости восстановления ионов H^+ будут настолько высокими, что их уменьшения из прикатодного слоя не успевают восполнить приток их из электролитов. Таким образом показатель кислотности электролита рядом с катодом критически сокращаются, таким образом, чем в основной массе электролита, или иными словами в данном случае наблюдается реакция защелачивания прикатодного слоя, в рамках которого может образоваться нерастворимая гидроокись железа, этот процессный явлением гидратообразования.

В случае осаждения железа электрическим током с использованием горячих хлористых электролитов pH в прикатодном слое может повышаться 0,36...0,72.

Огромное значение на показатель pH гидратообразования имеет использование в составе электролита ионов Fe^{3+} . При одновременном присутствии восстанавливающего агента к примеру, металлического Fe, ион Fe^{3+} вступает с ним в реакцию стараясь обеспечить устойчивую степень окисления иными словами 2 валентное состояние $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$.

Подобная склонность электролита к процессу окисления $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$. Будет тем более высокой, чем более высокой будет использоваться температура и меньшим будет показатель кислотности электролита. По этой причине в его составе следует обеспечивать поддержку определённого избыточного объема свободной кислоты.

В качестве ключевого критерия в случае определения верхней границы показатели концентрации соляной кислоты выступают процесс катодного выхода железа по току. Концентрация HCl свыше 3 г/л обеспечивает резкое сокращение объема выхода железа по току. По этой причине концентрацию HCl нужно принимать за верхнюю границу допустимую границу. Нижняя граница в данном случае будет составлять $HCl = 1,1$ г/л. Такие условия и требования справедливыми в отношении псевдо стационарного электролита.

Максимальный показатель рассеивающей способности 72,3% демонстрирует электролит, имеющий концентрацию $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 400 г/л.

В случае, когда плотность тока повышается, а также повышается температура электролита, обеспечивается больше эффективность рассеивающей способности электролита. Таким образом, можно установить, что самый Электролит в рамках исследования представляет собой электролит 4 категории, то есть среднеконцентрированный электролит, оптимальная концентрация которого составляет (300...350 г/л). Диапазон показателей концентрации соляной кислоты в максимальной степени соответствует поставленным условиям от 1,1 до 3 г/л, что соответствует кислотности электролита pH от 1,4 до 0,8.

Процедура выбора показателя температуры электролита. Наиболее приоритетным параметром, который в максимальной степени отражает все аспекты процесса электролиза, представляет собой температура электролита. В целях восстановления деталей в растворе хлористого электролита с использованием постоянного тока в настоящее время однозначные рекомендации по использованию температура электролита отсутствуют [8]. От того, каким будет выбор оптимального значения температуры электролита при железнении, ключевую роль играет показатель качества покрытия, показатель надежности технологического процесса, и уровень производительность при железнении.

Показатели качества покрытия оцениваются в соответствии с характеристиками износостойкости и усталостной прочности восстановления деталей. Эти показатели обуславливаются параметрами твердости покрытия, параметрами густоты трещины сетки на покрытие, и параметрами внутренних напряжений 1 категории. Максимальное удобство в применении в целях осуществления объективного и высококачественного количественного контроля качества выступает показатель микротвердости. По результатам определённых исследований и экспериментов в направлении анализа уровня стойкости при помещении изделия в условия граничного трения доказано, что присутствует оптимальная твердость покрытия [8,12,44,45].

Для большинства сопряжений скольжения показатель оптимальной микротвердости электролитического железа будет составлять примерно

H500 4,8 ГПа (490 кгс/мм²) [46,47]. Использовать покрытие с этим значением твердости специалисты рекомендуют в случае необходимости восстановления большей части детали, в частности сюда следует отнести толкатели, клапаны, поршневые пальцы, шкворни. На основе этих рекомендаций, проведена процедура последующего анализа по большей части для покрытия продемонстрированной твердости.

Покрытие H500 4,8 ГПа может быть получено в составе электролита с высоким диапазоном температур, которые могут варьироваться от 20 до 90 градусов Цельсия [8]. При этом в случае увеличения значения температуры электролита можно увидеть тенденцию к повышению уровня износостойкости.

Еще одним косвенным подтверждением в данном случае выступает возможность получать покрытия имеющая меньшее количество примесей, с большими показателями прочности, и соответственно с большими показателями износостойкости. Представленная возможность получается в результате того что будет устранено ингибирующее влияние адсорбированных чужеродных элементов в частности воды, кислорода, молекулярного водорода и гидроокиси на поверхности катода вовремя процедуры электролиза. При этом, в случае повышения температуры электролита повышается скорость и его окисления [48,64]. Если температура повышается с 45 до 70 градусов Цельсия то происходит увеличение уровня рассеивающей способности приблизительно в полтора раза [49]. Если температуру электролита взять выше 72 градусов Цельсия то можно отметить наличие быстрого отрыва мелких пузырьков водорода с катода, что является препятствием для формирования питтинга. Это явление можно объяснить тем, что происходит снижение показатели вязкости электролита, а также быстро повышается объем водородного пузырька при повышении температуры [12].

Значение температуры электролита оказывает существенное влияние на показатели производительности процесса железнения и иные характеристики технико-экономического плана. Уровень производительности обуславливают

определенные критерии в частности, показатель катодной плотности тока, показатель электропроводности электролитов, и показатель выхода металла по току.

Для получения большой величины припуска, больше всего интересуют такие свойства покрытия как рассеивающая способность электролита, наличие питтинга, дендритообразования, поэтому выбор делается в пользу высоких значений из рекомендуемых для процесса железнения.

Температура электролита, как наиболее подходящую для формирования толстых и равномерных осадков, принимаем равной 80°C, так как при температуре электролита превышающей это значение он быстро окисляется кислородом воздуха.

Экспериментальная установка. Опыт применения процесса железнения с целью восстановления деталей выявил ряд требований которым должна отвечать установка железнения [40,50-53].

В соответствии с этими требованиями была изготовлена экспериментальная установка, общий вид которой показан на рисунке 3.1.

В качестве источника тока использован блок питания АПУ-100-1 имеющий следующие основные технические характеристики:

Агрегат изготовлен в исполнении УХЛ категории 4 по ГОСТ-15150-69 Агрегат обеспечивает следующие формы выходного тока в зависимости от положения переключателя ФОРМЫ (КР): 0 - нагрузка обесточена; 1 - прямоугольные импульсы; 2 - постоянный ток положительной полярности; 3 - постоянный ток отрицательной полярности; 4 - синусоидальный ток.

Диапазон задания тока 2...99А, Дискретность 1А.

Номинальное напряжение 12+1В.

Диапазон задания периода выходного тока 1...100 мс с дискретностью $0.1 \cdot 10^n$, где $n=0,1,2$. Погрешность задания периода $\pm 5\%$ Тзад.

Диапазон задания отношение длительности прямоугольного импульса к длительности периода (10-95)% с дискретностью 1%.

Погрешность задания отношения длительности импульса к периоду $\pm 5\%$ t зад. Эффективное значение пульсации выходного тока в режиме

постоянного тока не превышает 10% $I_{ном.амп.}$.

Максимальное отклонение формы кривой тока в пазрузке от тока заданной формы не превышает $\pm 20\% I_{ном.амп.}$.

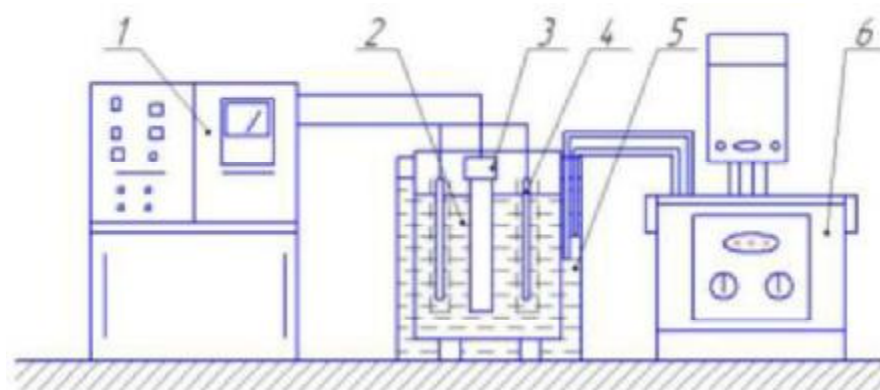
Температурный режим в ванне железнения обеспечивается с помощью термостата с погрешностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Кислотность электролита контролировалась с помощью лабораторного рН-метра-милливольтметра рН-673. Прибор имеет следующие технические характеристики:

Пределы измерения рН - от минус 1 до плюс 14 с погрешностью $\pm 0,05$. Стабильность прибора, рН/ч не хуже $\pm 0,02$ за 8 часов.

Для обеспечения достаточных макроконвективных потоков во всем диапазоне величин плотностей тока применяемых при электролизе была выбрана стеклянная ванна объемом 2 литра подогреваемая водяной рубашкой.

Схема установки изображена на рисунке 3.1.



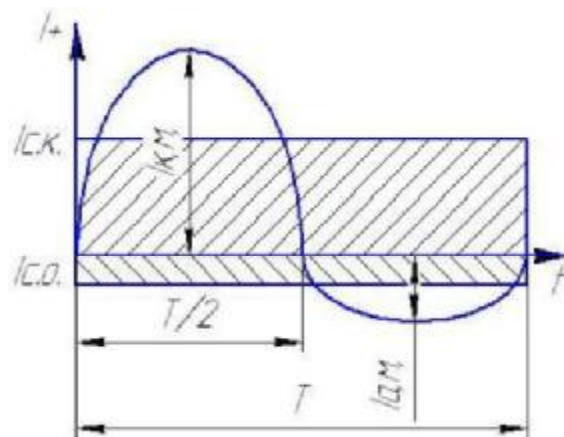
1- блок питания, 2 электролит железнения, 3 - оправка с образцами, 4 - анод в чехле, 5 термостат

Рисунок 3.1 - Схема экспериментальной установки

3.2 Методика определения оптимальных режимов получения покрытия на асимметричном токе

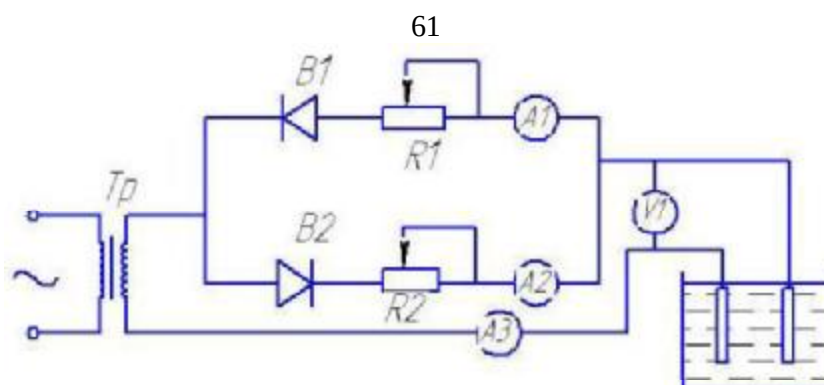
Не требует высоких затрат и при этом демонстрирует должный эффект при оказании воздействия на процесс электролиза синусоидальный ток у которого присутствует независимое регулирование амплитуд прямого и

обратного импульса, в данном случае прямой импульс катодный, а обратный Импульс анодный [54] (рисунок 3.2), по этой причине указательно форму тока было решено использовать в рамках эксперимента по анализу особенностей влияния режимов железнения на характеристики получаемых, в результате этого влияния покрытий. Средняя схема, которая должна быть реализована при необходимости получения этой формы тока, продемонстрирована графически на рисунке 3.3. Основная цель эксперимента в данном случае заключалась в определении характера связи которая присутствует между параметрами компонентов режима железнения и формированием дендритов и питтинга для того чтобы предложить в дальнейшем методы их оптимизации, а также получить необходимые сведения которые в последующем позволят решить задачи, касающиеся необходимости повышения припуска для осуществления механической обработки. В силу того, что при развитии данных характеристик в электролитическом процессе накладываются ограничения на предельный размер толщины наращиваемого слоя за одну записку [8]. Ко всему прочему проводился также анализ особенностей равномерности и микротвердость покрытий, которые получаются в результате данного электролитического процесса так как они представляют собой наиболее важные технологические характеристики.



$I_{a.m}$ и $I_{a.n}$ — амплитуды прямого и обратного импульсов; $I_{с.к.}$ и $I_{с.а.}$ — средние значения прямого и обратного импульсов за период; T — период периодического тока

Рисунок 3.2 График периодического тока с независимым регулированием амплитуд прямого и обратного импульсов



Tr - понижающий трансформатор; B1 и B2 - полупроводниковые диоды; R1 и R2 -регулируемые реостаты; A1 и A2 - магнитоэлектрические амперметры; A3 и V1 - электромагнитные амперметр и вольтметр; Д – ванна

Рисунок 3.3 – Схема электролиза периодическим током с независимым регулированием амплитуд прямого и обратного импульсов

По результатам эксперимента планировалось выяснить ряд характеристик получаемого покрытия:

- дендриты, их число и размеры;
- питтинг, его число и размеры;
- параметры микротвердости;
- параметры равномерности.

Рассматриваемые параметры находятся под влиянием некоторых условий и характеристик, в частности это:

- показатели концентрации соли хлорида железа, г/л;
- показатели концентрации соляной кислоты г/л ;
- значение температуры в электролите, градусов Цельсия;
- показатели плотности катодного тока А/дм²;
- катодно анодный показатель, %

В данном случае анализ проводился в аспекте существующего влияния на необходимые параметры качества покрытия реализуемого тремя из указанных ранее условий, данные представлены в таблице 3.2:

- показатели концентрации соляной кислоты г/л ;
- показатели плотности катодного тока А/дм²;
- катодно-анодный показатель, %

Катодно-анодный показатель в данном случае представляет собой процентное отношение анодного импульса к когу одному в течение периода колебания. Остальные два условия было решено принять, как постоянные и значение их составляли 300...320 г/л и 80±2,0°C. Всего было проведено 15 исследований.

Таблица 3.2 Исследуемые факторы в действительных значениях

Факторы \ Уровни	Катодная плотность тока* Дк, А/дм ²	Кислотность электролита, рН	Катодно-анодный показатель, %
Нижний	20	0,8	0
Оснoвной	30	1,1	10
Верхний	40	1,4	20

* - для асимметричного тока средняя величина за период колебания.

Покрывание наносилось одновременно на наружную поверхность 3 образцов представляющие собой цилиндры из стали 45 ГОСТ 1050-74 с площадью покрываемой поверхности 0,4 дм². Образцы располагались на подвесном приспособлении на одной оси, что упрощало определение равномерности покрытия. Подвесное приспособление является так же и оправкой для обработки наружной поверхности образцов. Сборочный чертеж оправки изображен на рисунке 17. На торцах образцов расположены дополнительные катоды. Постановкой дополнительных катодов достигается более равномерное распределение тока на покрываемой поверхности, снижая образование дендритов на торцах образцов. Поверхности оправки находящиеся при электролизе в электролите изолировались при помощи изоляционной ленты.

При электролизе использовались два анода расположенные по обе стороны от образцов на одинаковом расстоянии. Аноды представляют собой пластин из низкоуглеродистой стали приваренные к токопроводящим стержням. При электролизе они помещаются в защитные чехлы из плотной кислотостойкой стеклоткани. Применение чехлов позволяет предупредить загрязнение электролита анодным шламом.

Процедура монтажа образцов для осуществления оправки:

- поверхность цилиндров шлифуется;

- поверхность обеззараживается с использованием венежной извести;
- образец промывается струями холодной воды;
- проводится процедура анодной обработки цилиндра с использованием для этого 30 процентного раствора H_2SO_4

Обработка в данном случае осуществляется в следующем режиме:

а значение температуры электролита не выше $+25$ градусов Цельсия

б показатель плотности тока составляет $Da=70 A/dm^2$

в показатель продолжительности тока заставляют 6-7 секунд.

- процедура промывки образцов в тёплой воде при температуре от 40 до 50 градусов Цельсия

- непосредственно процедура железнения образца

В данном случае в начальной фазе осаждения железа на металлические цилиндры плотность тока составляла $Dk 4 A/dm^2$. После отпа в течение 10 минут постепенно повышалась до значения рабочей температуры.

- После железнения образцы промывали струями холодной воды
- затем металлические цилиндры ремонтировались с оправки
- после демонтажа с цилиндров снимались размеры.

Дендритообразование оценивалась по количеству неровностей п на единицу площади поверхности. А так же по шероховатости полученной поверхности.

Равномерность покрытия оценивалась на трех образцах расположенных на подвесном приспособлении в качестве одного длинного образца. В качестве критерия оценки распределения железа на катод принят коэффициент потерь K_n , который представляет собой отношение количества металла, удаляемого с поверхности для придания" ей правильной геометрической формы M_n , (потери металла), ко всему количеству осажденного металла M_{oc} [8]:

$$K_n = \frac{M_n}{M_{oc}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Показатель толщины используемых металлических цилиндров вычисляли в соответствии со схемами замеров, продемонстрированными

графически на рисунке 3.4. Для осуществления расчётов применялась специальная система, которая также схематически отображена на рисунке 3.5. Отчетный аппарат в данном случае представлял индикатор часового типа ИЧ-0-10мм ГОСТ 577-78, с ценой деления 10 мкм. До начала эксперимента проводилась процедура предварительной настройки используемых в приспособлении в соответствии с эталонными исходными значениями поверхности образца, с защитой от наносимого покрытия, и этот показатель использовался в качестве измерительной базы. Микрорельеф определялся на образцах с использованием специальной модели профилографа-профилометра, код модели 171011.

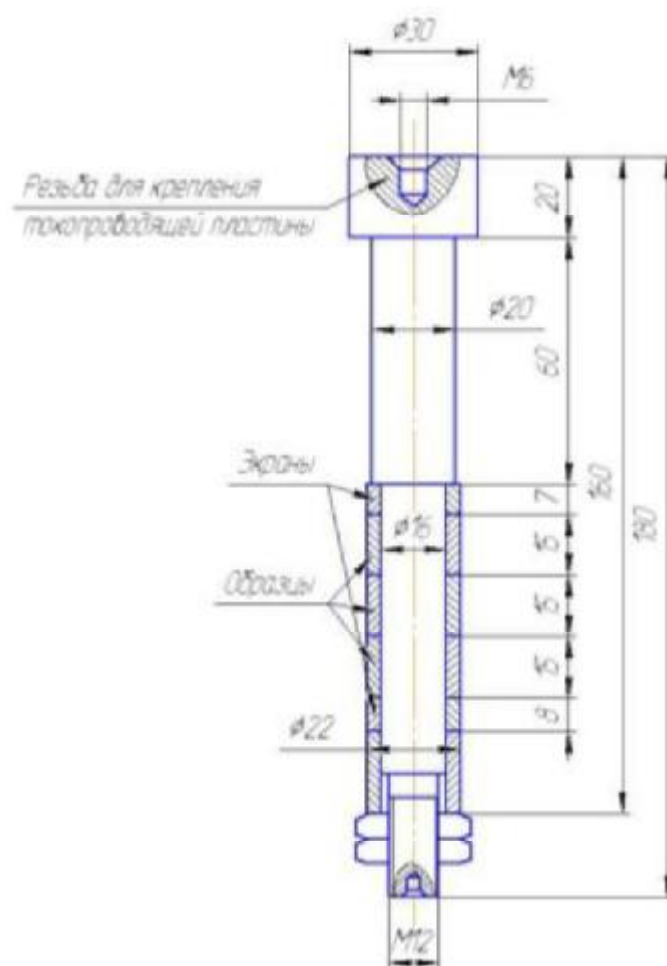


Рисунок 3.4 – Оправка, служащая для нанесения покрытия и обработки образцов

Прибор использовался в условиях, в которых присутствовали следующие параметры интегрирования для показывающего прибора, значения которых составляют 3,2 мм; базовая длина 0,8 мм.

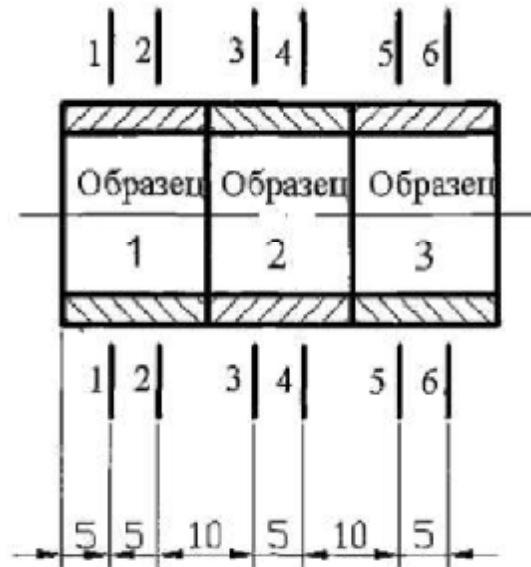


Рисунок 3.5 - Схема замеров равномерности покрытия

Анализируемый микрорельеф затем ошупывал с использованием датчика, оснащенного алмазной иглой, процедура осуществлялась вдоль образующие цилиндрической поверхности как минимум на 3 разных точках. Полученные результаты сведены в таблицу, и представлены в приложении 2 настоящей работы.

Микротвердость покрытий железа отмечалась с использованием прибора ПМТ-3 при нагрузке 200 г. Отпечатки в данном случае наносились с расстояния как минимум двух диагоналей друг от друга и на расстоянии от микротрещин. Точность измерений диагонали с использованием прибора ПМТ-3 составляла 0.1 мкм. Микротвердость измерялась в 3 участках каждого металлического цилиндра.

3.3 Планирование полного факторного эксперимента

3.3.1 Цель и задачи планирования

В качестве цели проводимого эксперимента выступает необходимость определения существующей связи между параметрами дефектов, параметрами микротвердости и равномерности покрытия, а также показателями режима железнения с использованием асимметричного тока. Полученные в ходе экспериментов результаты планируется в дальнейшем

использовать для оптимизации представленных параметров. Более того результаты эксперимента значимы тем, что могут в достаточной мере восполнить информационную базу, которая впоследствии будет использоваться при решении проблем касающихся повышения припуска для механической обработки.

Задача исследования может быть решена в определенных границах, так как требуется определить характер связей между компонентами режима железнения и их характеристиками покрытия в частности, число и размеры появляющихся на нём дендритов, а также показатели равномерности и микротвердости и получаемого покрытия. Эти показатели нужно определить, так как они имеют наиболее важное значение в аспекте оказания влияния на возможное формирование требуемого припуска, а также на критерии механической обработки заготовки.

Так как в обычной ситуации известные до настоящего времени показатели находятся под влиянием существенных объемов компонентов режима электролитического процесса, то основой решения задачи в данном случае выступает проведение статистического многофакторного эксперимента с последующей реализацией ортогонального композиционного плана Бокса-Уилсона[55-57].

Указанный метод предоставляет возможность при определении значений коэффициентов уравнения регрессии второго порядка использовать разные варианты переменных факторов как минимум на 3 уровнях.

3.3.2. Полный факторный эксперимент

В рамках 1 стадии планирования были проведены следующие процедуры: в частности процедура отбора и обоснования наиболее значимых факторов, то есть компонентов режима железнения; процедура аргументации уровней их вариативности и формирование матрицы планирования эксперимента [58-61]. Так как факторы процесса отличаются неоднородностью и обладают разными порядками они должны быть

приведены в единую систему исчисления, в этих целях потребуется перейти от действительных значений факторов, к использованию кодированных в соответствии с формулами:

$$X_{i0} = \frac{X_{imax} + X_{imin}}{S}, \quad (3.2)$$

где X_{imax} - верхний уровень каждого фактора;

X_{imin} - нижний уровень каждого фактора;

X_{i0} - основной уровень каждого фактора;

$S=2$ - число уровней, i - номер фактора.

Интервал варьирования ΔX_i уровней каждого фактора определяется по формуле:

$$\Delta X_i = \frac{X_{imax} + X_{imin}}{S}. \quad (3.3)$$

Кодированные значения факторов на каждом из двух уровней устанавливаются по формуле:

$$\hat{X}_i = \frac{X_{imax(min)} + X_{i0}}{\Delta X_i}. \quad (3.4)$$

Принимаемые в данном случае основные нижней и верхней действительные параметры уровня анализируемых факторов, и интервалы их вариативности, а также кодовые обозначения представлены в составе в сводной таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Исследуемые факторы в действительных значениях

Факторы\Уровни	Катодная плотность тока* Дк, А/дм ² (Дк)	Кислотность электролита, рН (рН)	Катодно-анодный показатель, % (к)
Нижний	20	0,8	0
Основной	30	1,1	10
Верхний	40	1,4	20
Интервал варьирования	10	0,3	10
Кодовое обозначение	X1	X2	X3

-для асимметричного тока средняя величина за период колебания

Эксперимент 2^3 в данном случае выступил в качестве основы нашей системы планирования. Таким образом предоставляется возможность осуществлять расчет как ключевых эффектов так и эффектов взаимодействия первого порядка. В целях определения всех квадратичных эффектов используется добавление $2k$ точек, которых именуют звёздные точки, они располагаются на $\pm\alpha$ от центра планирования.

Показатель α зависит от числа факторов и в рамках проведения трёхфакторного эксперимента она составит $\alpha = 1,215$ [65,66]. Также нужно отметить, что в данной ситуации один из опытов выполняется в центре плана. На каждой стадии настоящего эксперимента все исследования проводятся с трехкратной повторяемостью. Таким образом, можно обеспечить достоверность получаемых результатов на уровне 95%. Для того, чтобы ликвидировать систематические погрешности эксперимента осуществляется рандомизация опытов, а также они выполнят в случайной последовательности согласно данным таблицам с равномерно распределенными случайными числами [67,68].

В рамках таблицы 3.3 продемонстрирована матрица планирования экспериментального исследования, а также среднее значение показателей полученных в результате опытов. Все полученные результаты в каждой точке плана эксперимента обрабатывались с использованием персонального компьютера и заключались в определение функциональной зависимости микротвердости (m), образование дендритов(d) и показателя равномерного покрытия (Γ) металлических цилиндров, от заданных и постоянных, для каждого участка плана компонента режима, в зависимости от совокупности не зависящих друг от друга статистических экспериментов которые были получены в ходе осуществления измерений. величину дендритообразования (d) отличает число дендритов, присутствующих на одном образце ($d1$) и показателем шероховатости поверхности (Ra ($d2$), Rz ($d3$)).

Для того чтобы не включать в расчет результаты ошибочно проведенных опытов применяется критерий Стьюдента [69,70]. Следует принимать результаты опыта как бракованные, в ситуации, когда

экспериментальное значение критерия по модулю выше значения представлено в таблице.

В соответствии с данными таблицы и расчетами (m), (d) и (r) устанавливался характер и интенсивность влияния режимов электролитического процесса на анализируемый критерий. Для того чтобы описать анализируемый процесс применялся полином второго порядка, в котором наряду с линейными членами включаются выражения, которые могут отразить характеристики эффектов взаимодействия.

Регрессионное уравнение в этой ситуации будет выглядеть следующим образом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1^2 + b_7x_2^2 + b_8x_3^2. \quad (49)$$

Показатели однородности дисперсии воспроизводимости для каждого участка были проверены в соответствии с критерием Кохрена [71] а затем их сравнивали с данными таблицы и в ситуации, когда показатель был меньше табличного значения в таком случае гипотетическое представление о факторе однородности дисперсии и воспроизводимости результатов была принята для определения коэффициентов регрессии использовалась формула:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{ui}x_u}{\sum_{u=1}^n x_u^2}. \quad (3.5)$$

Гипотеза о том, что коэффициенты значимы, должна была быть проверена в соответствии с критерием Стьюдента. В ситуации, когда полученное расчетное значение было больше табличного показателя, в таком случае коэффициент признавали как значимый. Проверка адекватности модели экспериментальным данным осуществлялась в соответствии с критерием Фишера, [71] для каждого уровня значимости в 5% определяется значение таблицы и затем их сравнивали с полученным расчетным показателем. В ситуации когда расчетный показатель был ниже табличного значения, то в таком случае гипотеза об адекватности модели принималась.

3.4 Методика исследования влияния формы асимметричного тока на свойства покрытий, а так же возможности применения повышенной плотности тока

Одной из важных характеристик асимметричного тока является его форма. Ее влияние на свойства получаемых покрытий и производительность при железнении практически не встречается в литературе. Это показывает на необходимость определения наиболее эффективной формы тока. Поэтому был проведен эксперимент по нанесению гальванического покрытия железом при одних и тех же режимах на синусоидальных и прямоугольных импульсах. Режимы электролиза были определены по ранее проведенному многофакторному эксперименту и построению математической модели.

Таблица 3.4 - Полный план матрицы планирования

№ точек плата	Значение факторов				Комбинации в произведениях					Действительные значения исследуемого параметра				
	X_0	X_1	x_2	X_3	X_1X_2	X_2X_3	x_1^2	x_2^2	X_3^2	m	d			r
											d_1	d_2	d_3	
1	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1816,87	18,33	0,607	2,163	6,2
2	1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	2957,6	101,67	0,467	2,2	3,36
J3	1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	4270,63	129,67	0,94	2,543	4,16
4	1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	2876,27	72,67	0,693	2,693	4,72
5	1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	2324,6	133,67	0,516	2,107	8",09
6	1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	3695,6	152,33	0,65	2,367	10,3
7	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	3199,9	68,33	0,513	1,967	11,63
8	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	3603,03	157,33	0,593	2,367	10,95
9	1	+a	0	0	0	0	+a ²	0	0	3245,47	58,67	0,58	2,137	6,01
10	1	-a	0	0	0	0	+a ²	0	0	3622,3	75	0,506	2,14	5,47
11	1	0	+a	0	0	0	0	+a ²	0	3522,2	124,67	0,543	2,283	5,21
12	1	0	-a	0	0	0	0	+a ²	0	2315,03	5,67	0,423	2,053	5,03
13	1	0	0	+a	0	0	0	0	+a ²	3727,17	67,33	0,633	2,597	5,06
14	1	0	0	-a	0	0	0	0	+a ²	3727,17	67,33	0,633	2,597	5,06
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3727,17	67,33	0,633	2,597	5,06

Также целью эксперимента являлось установление возможности

использования более высоких плотностей тока (60 А/дм^2) за счет устранения пассивирования анодов, чем при электролизе на постоянном токе (40 А/дм^2), получая при этом доброкачественные покрытия. Возможность использования более высоких плотностей тока при электролизе на асимметричном токе указывалась во многих источниках [25,28,34]. Возможность железнения на асимметричном токе в горячих хлористых электролитах при повышенной (по сравнению с рекомендуемым для постоянного тока) плотностью тока даст возможность снизить или избавиться от главного недостатка асимметричного тока - низкой производительности процесса. Оправка, образцы и их подготовка аналогична предыдущему эксперименту. Покрытия наносились при следующих режимах:

- концентрация соли хлористого железа в электролите $300 \dots 320 \text{ г/л}$;
- кислотность электролита $\text{pH}=1,4$;
- температура электролита $80 \pm 2,0^\circ\text{C}$;
- плотность тока 60 А/дм^2 ;
- катодно-анодный показатель 13%;
- продолжительность электролиза 250 мин.

Качество получаемых покрытий оценивалось количеством дендритов на поверхности образцов, равномерностью осадка, а также его толщиной. В качестве критерия оценки равномерности покрытия был принят коэффициент потерь K [8].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ

4.1 Определение оптимальных режимов электролиза

4.1.1 Образование дендритов и питтинга при железнении

Так как процедура электроосаждения металла на поверхности катода отличается множественными характерными особенностями в результате действия, которых в рамках электролитического процесса отмечается течение повышение шероховатости получаемого покрытия. Появление множественных дендритов и питтинга на зеркале поверхности железа полученного электролитическим путем не позволяет создавать необходимую толщину наращивания металлического слоя при одной завеске изделия в ванну[8]. При этом, нужно отметить, что образование дендритов не может быть полностью устранено тогда как питтинг может быть полностью устранен. Дендриты оказывают отрицательное воздействие на процесс обрабатываемости поверхности с использованием лезвийных инструментов, так как образуются ударные нагрузки в случае черновых проходов.

Существующие в настоящее время в теории данного процесса наработки свидетельствует о том, что присутствует влияние асимметричного тока на процессы осаждения железа. Таким образом, можно предположить, что в случае его использования и использования на одной полуволны поверхности будет частично растворяться металлическое покрытие, и процессы эти будут происходить с большей интенсивностью на вершинах дендритов, в силу которых образуются шероховатость покрытия, таким образом, поверхность металлического слоя будет периодически сглаживаться.

Проведенные в рамках настоящего исследования эксперименты и их результаты представлены в рамках настоящей работы. Среднее число дендритов на поверхности одного образца металлического цели в случае разных значений катодно-анодного параметра представлены графически на рисунке 4.1.

Питтинг не был выявлен ни на одном металлическом цилиндре, этого

удалось достичь путем использования хороших конвективных потоков в ванне в силу повышенных значений объемной плотности тока во всех экспериментах. Таким образом получается доказательство того, что в случае использования оптимальной загрузки ванны этот вид дефекта полностью устраняется

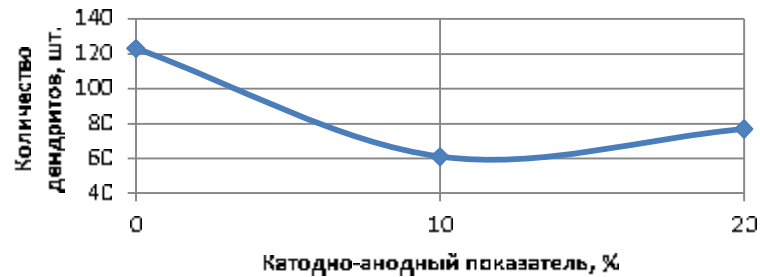


Рисунок 4.1 - Зависимость количества дендритов от величины катодно-анодного показателя

По данным рисунка 4.1 можно отметить, что на покрытиях, которые были созданы с использованием осе метрического тока, происходит формирование меньшего количества дендритов. Соответственно, покрытия, которые были изготовлены с использованием постоянного тока, демонстрируют большее их количество. При этом нужно отметить, что при повышении k от 1 до одного параметра число дендритов также увеличивается.

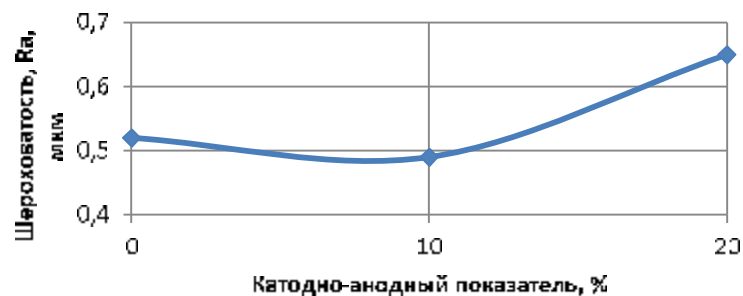


Рисунок 4.2 - Зависимость средней шероховатости поверхности от величины катодно-анодного показателя

На рисунке 4.2 продемонстрирована зависимость, которая присутствует между показателем шероховатости покрытия и катодно-анодным параметром. Как следует из рисунка, можно увидеть, что наиболее высокие показатели шероховатости присутствуют у покрытий, которые были получены с использованием катодно-анодного показателя 20. Минимальное значение у

покрытия, которое было получено с использованием асимметричного тока а катодно-анодный показатель в данном случае составил 10. Указанные факторы подтверждают, что покрытие изготавливаемое с использованием асимметричного тока использованием также низких значений на катодно-анодного показателя демонстрирует меньше образование дендритов. Таким образом, можно заключить, что высокие параметры катодно-анодного критерия провоцируют образование дендритов.

4.1.2 Равномерность металлопокрытия

Показатель равномерности в существующих гальванических покрытиях представляет собой один из ключевых показателей отражающих уровень их качества. Ко всему прочему особые требования к равномерности предъявляются в случае наращивания покрытий на изношенные детали автомашин для последующей их механической обработки. Такие повышенные требования обуславливаются тем, что в данной ситуации требуется наносить слой с существенной толщиной. Если равномерность распределения покрытия будет увеличена, то снизится время на осуществление электролитического процесса, а также снизится объем дальнейшей механической обработки.

Показатель равномерности распределения элементов железа на поверхности изделий имеет значение также потому, что основные характеристики железа полученного путем электролиза обуславливаются плотностью используемого тока, а она в свою очередь отличается на разных участках покрытия имеющих неодинаковую толщину.

Максимальный эффект этот режим может дать тогда когда на каждом участке покрываемой поверхности будет нанесен одинаковый по толщине слой. Но при этом нельзя забывать о том, что процесс электроосаждения железа на поверхности катода обладает весьма специфической сущностью поэтому указанное требование которое заключается в равномерности толщины покрытия можно достичь тем или иным уровнем вариативности.

Аналогично процессом формирования дендритов анодное полуоволна из

асимметричного тока должна провоцировать повышение эффективности выравнивания покрытия так как металлическое покрытие будет частично растворяться, особенно на участках плотность тока на которых повышена. Особенности зависимости коэффициента потерь K_{Π} от параметров катодно-анодного критерия представлены графически в рамках рисунка 4.3.

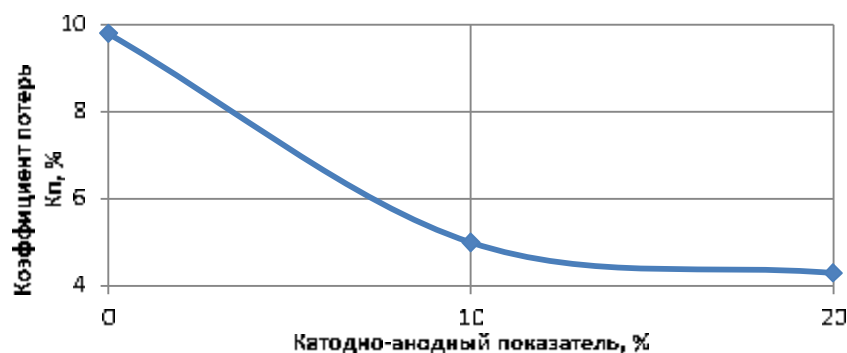


Рисунок 4.3 - Зависимость коэффициента потерь K_{Π} от катодно-анодного показателя

В соответствии с данными представленными на рисунке 4.4, можно заключить, что покрытия изготовленные с использованием асимметричного тока демонстрируют большую равномерность. Показатель равномерности покрытия который получается при использовании катодно-анодного показателя 10 в не существенной степени имеет отличия от равномерности покрытия при катодном и анодном критерии 20. На рисунке 4.4 графический продемонстрирован процесс распределения электролитического покрытия из железа по всей длине образца, по виду тока.

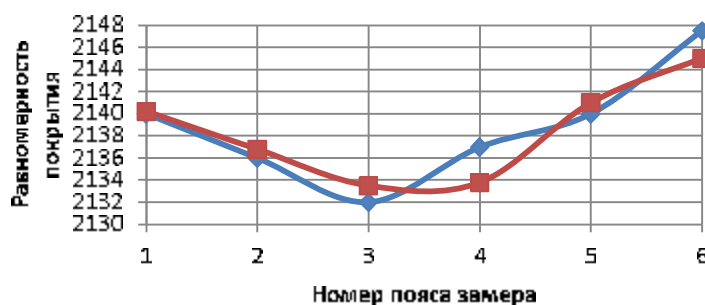


Рисунок 4.4 - Распределение электролитического железного покрытия по длине образца, в зависимости от вида тока

4.1.3 Микротвердость металлопокрытия

Микротвердость является своеобразной визитной карточкой электролитического железа, находясь в определенной связи с другими характеристиками его свойств - структурой, внешним видом, внутренними напряжениями, статической и динамической прочностью. Это главная характеристика покрытия, влияющая на ее обрабатываемость. Поэтому микротвердость может быть выбрана в качестве одной из основных характеристик при изучении свойств электролитического железа. Кроме того, измерение микротвердости - единственный вид испытаний, который проводится без повреждения детали [72].

Условия электролиза, от которых в большей или меньшей степени зависит микротвердость электролитического железа чрезвычайно разнообразны, но наиболее сильно влияют на микротвердость осадка температура, концентрация и кислотность электролита, и плотность тока [8]. О влиянии асимметричного тока на микротвердость покрытия в литературе даются противоречивые данные. Поэтому так важно определить влияние режимов электролиза на микротвердость покрытия нанесенного на асимметричном токе в горячем хлористом электролите. На рисунке 4.5 показана зависимость микротвердости электролитического железного покрытия от величины катодно-анодного показателя.

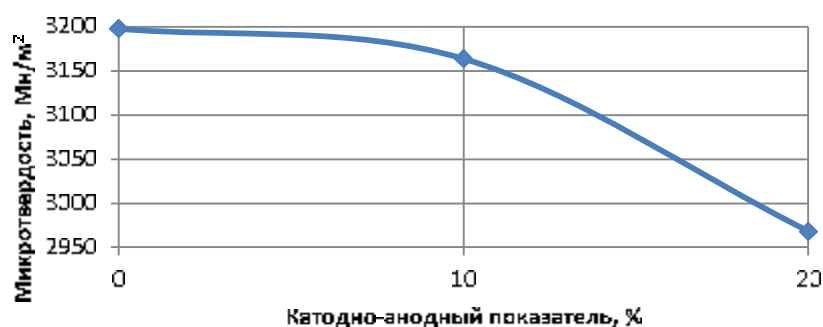


Рисунок 4.5 - Зависимость значения микротвердости при разных значениях катодно-анодного показателя

Рассеивание микротвердости на образцах полученных при разных значениях катодно-анодного показателя приведены на рисунке 4.6. Критерием

рассеивания было принято среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\text{мкр}}$.

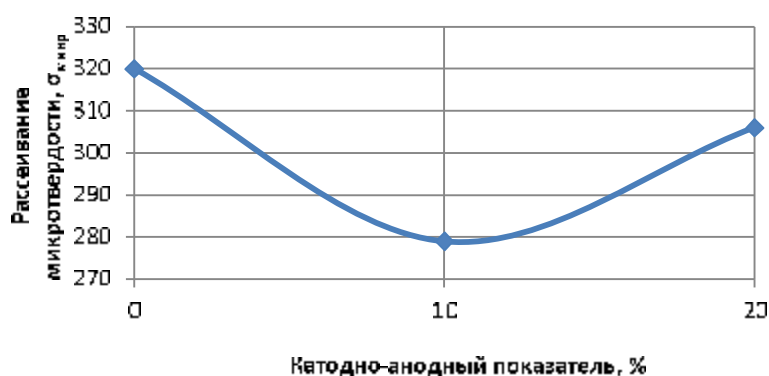


Рисунок 4.6 – Рассеивание микротвердости по поверхности образцов при разных значениях катодно-анодного показателя

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что при электролизе на асимметричном токе покрытия получаются мягче покрытий полученных на постоянном токе. Причем чем выше катодно-анодный показатель тем микротвердость ниже. Также у покрытий полученных на асимметричном токе меньше рассеивание микротвердости по поверхности образцов. Но с ростом катодно-анодного показателя рассеивание микротвердости возрастает. Все это говорит о том, что применение асимметричного тока позволит снизить усилия резания при снятии припуска в процессе механической обработки деталей. Что важно при ремонте деталей, где требуется обработка лезвийным инструментом поверхностей восстановленных железным покрытием с большим припуском на обработку, в частности внутренних поверхностей.

4.1.4 Производительность процесса железнения

Главным недостатком асимметричного тока при электролизе является более низкая, чем при постоянном токе производительность. Это связано с тем, что рост покрытия происходит только на катодной полувольте асимметричного тока, а на анодной полувольте происходит частичное растворение покрытия. Поэтому особенно важно сравнить скорость осаждения у покрытий, полученных в горячих хлористых электролитах на

асимметричном токе с аналогичными покрытиями, полученными на постоянном токе. На рисунке 4.7 показана зависимость толщины покрытия от катодно-анодного показателя асимметричного тока за один и ту же продолжительность электролиза.

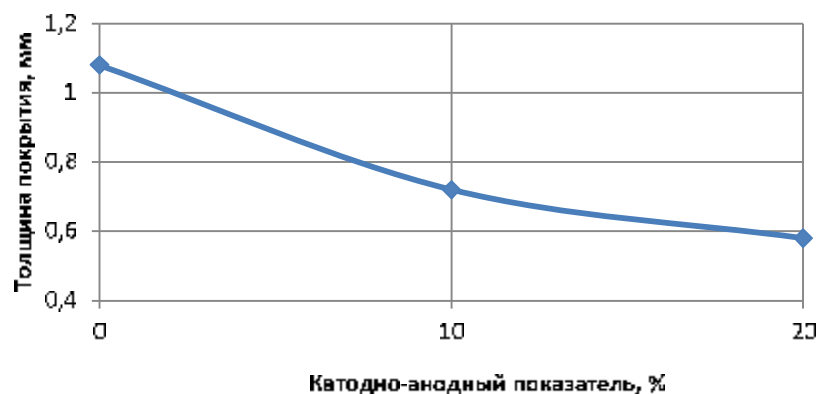


Рисунок 4.7 - Зависимость толщины покрытия от катодно-анодного показателя асимметричного тока

Результаты эксперимента подтвердили теоретические предпосылки о снижении производительности процесса с использованием асимметричного тока при одинаковых значениях плотности тока. Но теоретические предпосылки позволяют сделать вывод, что использование асимметричного тока позволит увеличить плотность тока при электролизе. Возможность увеличения плотности тока при использовании асимметричного тока проверена ниже.

По результатам проведенных экспериментов можно сформулировать ряд выводов:

1. При реализации электролитического процесса, получаемые покрытия с использованием асимметричного тока будут демонстрировать меньшую склонность к образованию дендрита, в силу чего появляется возможность осуществлять восстановление деталей, для которых требуется большая толщина напыления для последующей механической обработки при осуществлении одного зацепивания изделия в ванну;

2. Покрытие, которые были изготовлены с использованием асимметричного тока, демонстрирует большую равномерность своей толщине, в силу этого снижается объём необходимой в дальнейшем

механической обработки

3. Показатели микротвердости покрытий, которые были изготовлены с использованием асимметричного тока на 15% меньше чем у покрытий, которые изготавливались на постоянном токе. Указанный показатель позволит повысить эффективность обрабатываемости изделий с использованием листовых инструментов.

4.2 Разработка математической модели по результатам исследований

По результатам анализа особенностей влияния режимов электролиза на характеристики покрытий был выведен ряд математических моделей, которые позволяют описать область проанализированного факторного пространства, а также обеспечивают достаточный уровень точности в приближении расчетных показателей к экспериментальным. Таким образом, можно заключить, что в данном случае соблюдается условие $F_{рас} < F_{табл}$.

Уравнения, которые демонстрируют характер зависимости анализируемых функций от частных критериев электролиза примут следующую форму:

для микротвердости:

$$m = 3423,027 - 35,086 \cdot D_k + 425,246 \cdot p_{II} - 89,233 \cdot k - 120,991 \cdot D_k \cdot p_{II} - 41,272 \cdot p_{II} \cdot k + 1,192 \cdot D_k^2 + 933,146 \cdot p_{II}^2 - 3,129 \cdot k^2.$$

$$F_{рас} = 2,636 < F_{табл} = 3,200. \quad (4.1)$$

для дендритообразования:

$$d_1 = 195,038 - 2,154 \cdot D_k - 8,381 \cdot k - 0,889 \cdot D_k \cdot p_{II} - 3,916 \cdot p_{II} \cdot k + 13,543 \cdot p_{II}^2 + 0,485 \cdot k^2$$

$$F_{рас} = 1,985 < F_{табл} = 3,600. \quad (4.2)$$

$$d_2 = -8,346 + 0,654 \cdot D_k - 0,204 \cdot k - 0,021 \cdot p_{II} \cdot k - 0,011 \cdot D_k^2 - 0,188 \cdot p_{II}^2 + 0,011 \cdot k^2$$

$$F_{рас} = 0,603 < F_{табл} = 2,700. \quad (4.3)$$

$$d_3 = -6,746 + 0,674 \cdot D_k - 0,144 \cdot k - 0,014 \cdot D_k \cdot p_{II} - 0,038 \cdot p_{II} \cdot k - 0,011 \cdot D_k^2 - 0,338 \cdot p_{II}^2$$

$$F_{рас} = 0,654 < F_{табл} = 2,700 \quad (4.4)$$

для равномерности:

$$r = 6,371 - 0,364 \cdot D_k - 1,072 \cdot k - 0,0159 \cdot D_k \cdot p_{II} - 0,165 \cdot p_{II} \cdot k - 1,051 \cdot p_{II}^2 + 0,031 \cdot k^2$$

$$F_{\text{рас}}=0.295 < F_{\text{табл}}=3.600 \quad (4.5)$$

В соответствии с разработанными математическими моделями в характеристики изготавливаемых покрытий обуславливаются тремя анализируемыми режимами электролитического процесса - плотностью тока (J_k), кислотностью электролита (pH) и катодно-анодным показателем (k). Поверхность отклика в рамках анализируемого факторного пространства по показателю микротвердости железа от кислотности электролита и анодного параметра в случае фиксированного значения показателя плотности тока $J_k=40$ А/дм² графически продемонстрирована на рисунке 4.8. Как хорошо видно из графика микротвердость получаемого покрытия снижается при увеличении кислотности, что вызвано соответствующим уменьшением выделяемого на катоде водорода и как следствие уменьшением наводороженности покрытия.

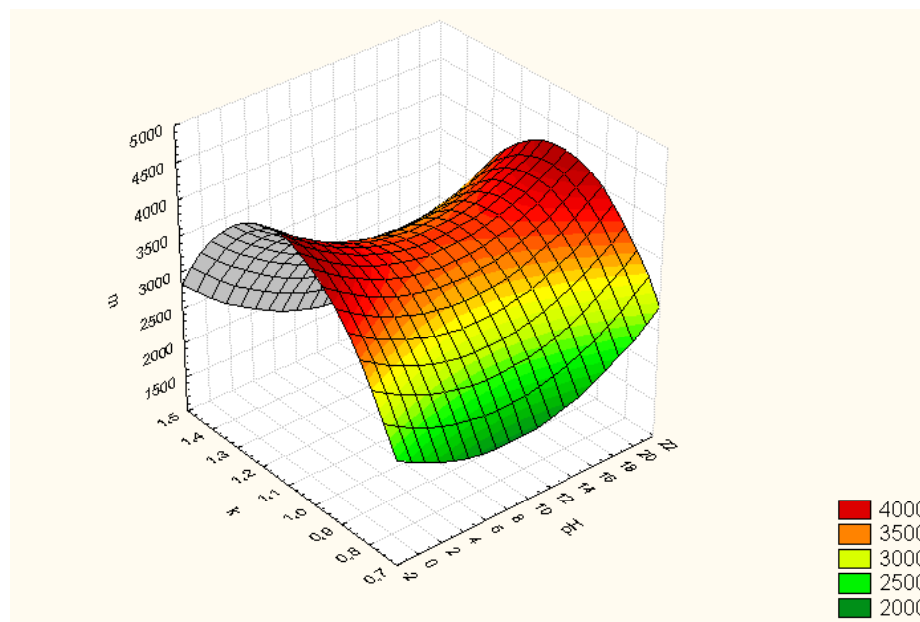


Рисунок 4.8 Поверхность отклика в исследуемом факторном пространстве в зависимости микротвердости электролитического железного покрытия от кислотности электролита (pH) и катодно-анодного показателя (k) при фиксированном значении плотности тока $J_k=40$ А/дм²

Из всех исследуемых факторов кислотность электролита оказывает наибольшее влияние на микротвердость. Зависимость микротвердости покрытия от катодно-анодного показателя не однозначна: при низких значениях катодно-анодного показателя микротвердость несколько выше, чем

у покрытий полученных на постоянном токе, но по мере увеличения катодно-анодного показателя микротвердость снижается. При низких значениях катодно-анодного показателя амплитуды анодной полуволны недостаточно для отрыва пузырьков водорода от поверхности покрытия, но при этом анодная полуволна оказывают достаточное влияние, на конвективные потоки, тормозя их. По мере увеличения анодной составляющей ее влияние на десорбцию водорода увеличивается, что ведет к уменьшению наводораживания покрытия. Поверхность отклика в исследуемом факторном пространстве в зависимости количества дендритов на электролитическом железном покрытии от кислотности электролита (pH) и катодно-анодного показателя (k) при фиксированном значении плотности тока $D_k=40 \text{ А/дм}^2$ представлены на рисунке 4.9.

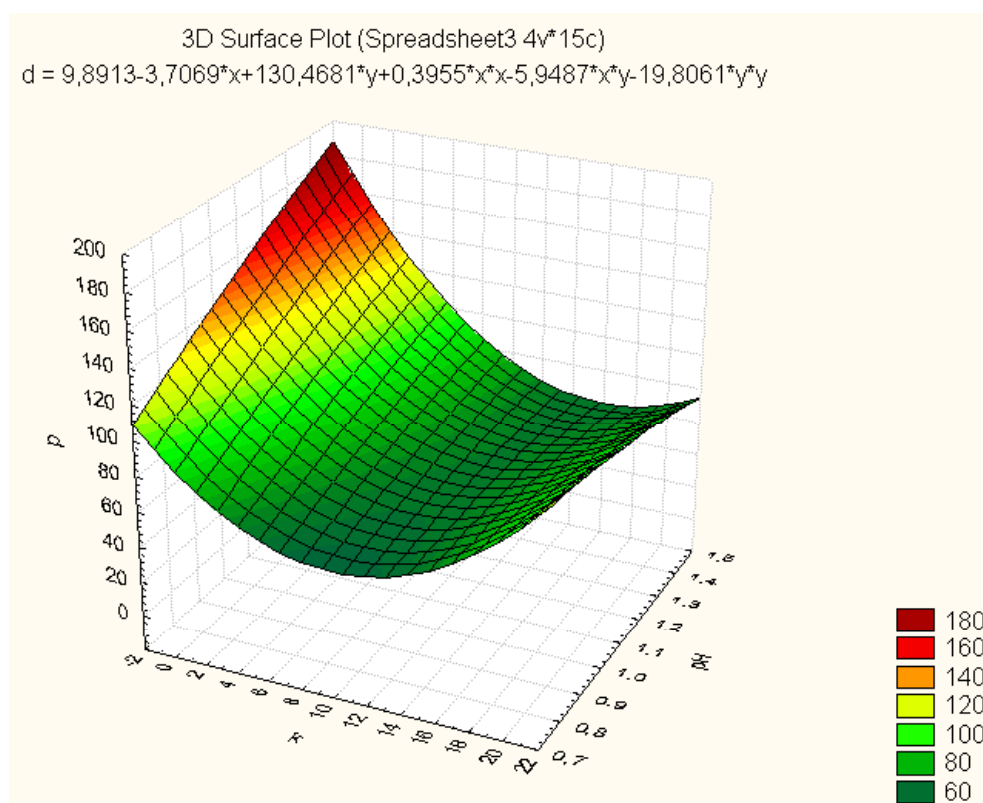


Рисунок 4.9 - Поверхность отклика в исследуемом факторном пространстве в зависимости количества дендритов на электролитическом железном покрытии от кислотности электролита (pH) и катодно-анодного показателя (k) при фиксированном значении плотности тока $D_k=40 \text{ А/дм}^2$

Наибольшее влияние из исследуемых факторов оказывает на дендритообразование катодно-анодный показатель. При увеличении

катодно-анодного показателя, до определенного значения, наблюдается снижение дендритообразования, а затем происходит рост количества дендритов. По мере увеличения анодной составляющей сглаживание поверхности увеличивается, за счет растворения покрытия происходящего наиболее интенсивно на вершинах дендритных наростов. Но при этом увеличивается концентрация ионов железа в прикатодном слое что ведет к росту шероховатости по мере увеличения анодной составляющей. При снижении кислотности электролита на малых значениях катодно-анодного показателя наблюдается рост дендритов, но на высоких значениях все происходит наоборот. Это так же вызвано обогащением прикатодного слоя ионами железа по мере увеличения амплитуды анодной полуволны.

Оптимизация математической модели

Оптимизация это процедура нахождения наилучших условий формирования железного покрытия. Задача оптимизации рассматривается как математическая задача поиска экстремального значения функции многих переменных. По полученным результатам необходимо определить оптимальные режимы электролиза, при которых покрытие наиболее соответствует требуемым показателям качества. Граничные значения элементов режима железнения примем те же самые что и при получении математических моделей. Оптимальными режимами железнения для восстановления отверстий корпусных деталей являются те, при которых покрытия получаются с наименьшим значением макрошероховатости (отсутствие питтинга и незначительное количество дендритов), с лучшей равномерностью распределения покрытия и низкой микротвердостью. Для этого необходимо определить при каких режимах железнения значения искомых параметров полученных математических моделей будут минимальными (т.е. необходимо найти минимум функции). Расчет проводился с использованием программного обеспечения MathCAD. Результаты расчета показали, что для всех исследуемых характеристик покрытия оптимальное значение кислотности электролита составляет $pH=1,4$. Наиболее оптимальным значением плотности тока является значение 40

A/дм^2 . Оптимальное значение катодно-анодного показателя колеблется от 10,9 для шероховатости покрытия до 20 для микротвердости. Следовательно, при восстановлении деталей предлагаемым технологическим процессом катодно-анодный показатель необходимо выбирать из диапазона от 10,9 если более важным критерием является производительность процесса и толщина покрытия, до 20 при необходимости формирования мягких покрытий незначительной толщины.

4.3 Исследование влияния формы асимметричного тока на свойства покрытий, а так же возможность применения повышенной плотности тока

Результаты исследования приведены на рисунке 4.10. Из полученных результатов видно, что осадки, полученные на асимметричном токе при синусоидальных импульсах имеют более высокое качество, чем осадки, полученные на прямоугольных импульсах. Равномерность покрытия у осадка, полученного на синусоидальных импульсах, в два раза лучше, чем у осадков полученных на прямоугольных импульсах. Дендритообразование при использовании синусоидального тока также значительно меньше. Скорость осаждения покрытия незначительно выше при электролизе на прямоугольных импульсах.

Если сравнивать образцы полученные при синусоидальных импульсах асимметричного тока при плотности тока 60 A/дм^2 с образцами полученными на постоянном токе при плотности тока 40 A/дм^2 , то видно, что они выгодно отличаются меньшим количеством дендритов при практически такой же скорости осаждения. Равномерность покрытия отличается незначительно. Это говорит о том, что при использовании асимметричного тока при повышенных значениях плотности тока можно получать более качественные осадки при той же производительности процесса.

4.4 Определения стойкости лезвийного инструмента при обработке деталей восстановленных железнением

На рисунке 4.10 приведены кривые изменения радиального (размерного) износа резца в зависимости от продолжительности обработки, полученные при точении электролитического железного покрытия полученного на постоянном и асимметричном токе.

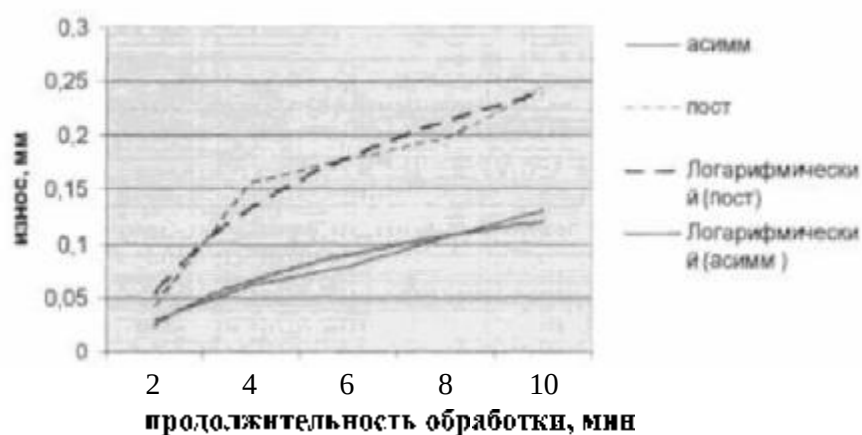


Рисунок 4.10 - Радиальный износ резцов при обработке электролитического железа, полученного на асимметричном и постоянном токе

Анализируя их, можно видеть, что асимметричный ток оказывает существенное влияние на износ резца при обработке железного покрытия. Это связано с тем, что при анодной полуволне с покрытия удаляется водород, это приводит к снижению наводораживания электролитического слоя. Благодаря этому уменьшается хрупкость и улучшается износостойкость. Так же у покрытия полученного на асимметричном токе микротвердость покрытия несколько ниже, что тоже положительно сказывается на стойкости резца. Так же свою роль играют дендриты, которых у покрытия полученного на асимметричном токе значительно меньше [76]. Дендриты при точении вызывают ударные нагрузки на резец, что негативно сказывается на износе резцов.

Если в качестве критерия затупления принять величину радиального износа h_r 100мкм (рекомендуемая величина для обработки стали твердосплавными резцами [74]), то стойкость резца 15к6 при обработке электролитического покрытия полученного на асимметричном токе составит

7...7,5 мин, а на постоянном токе 3...3,5 мин.

Аналогично проведен эксперимент по влиянию микротвердости покрытия на стойкость резцов с целью проверки теоретических расчетов проведенных в главе 2.5. Полученные графики теоретической и экспериментальной зависимости приведены на рисунке 4.11.

Зависимость стойкости инструмента от микротвердости покрытия

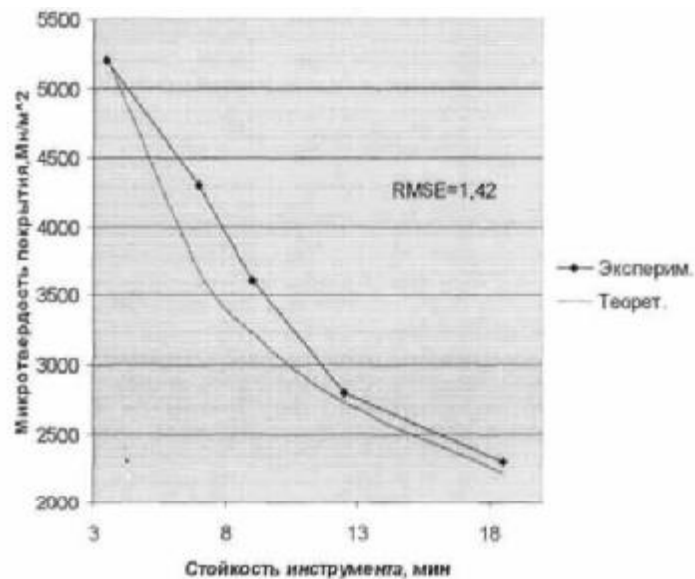


Рисунок 4.11 - Зависимость стойкости инструмента от микротвердости покрытия

Средняя квадратичная ошибка (RMSE) несовпадения теоретических значений с экспериментальными составляет 1,42.

Площадка износа у твердосплавной пластины при обработке покрытия, полученного на асимметричном токе заметно меньше, чем после обработки покрытия полученного на постоянном токе.

Рисунки показывают насколько разный вид стружки имеет покрытие, полученное на асимметричном токе от покрытия, полученного на постоянном токе (рисунок 4.12).

Электролитическое железное покрытие полученное на асимметричном токе при обработке дает стружку больше схожую со сливной, в отличие от покрытия, полученного на постоянном токе, имеющая явный характер стружки скалывания. Это свидетельствует о повышенной пластичности покрытия полученного на асимметричном токе, по сравнению с покрытием полученным на постоянном токе.



Рисунок 4.12 - Стружка, возникающая при обработке покрытия полученного на асимметричном и постоянном токе

Шероховатость электролитического железного покрытия полученного на асимметричном токе так же положительно отличается от покрытия полученного на постоянном.

Выводы:

1. Стойкость резцов при обработке электролитического железного покрытия полученного на асимметричном токе более чем в два раза выше, чем у покрытия полученного на постоянном токе. Что позволяет применять лезвийную обработку восстановленных деталей, требующих повышенной точности размеров.
2. Шероховатость покрытия, полученного на асимметричном токе после точения, на 20 % ниже, чем у полученного на постоянном токе.

ВЫВОДЫ

1. Покрытия получаемые на асимметричном токе имеют на поверхности меньше дендритов, распределение покрытия более равномерное, а также оно имеет меньшую микротвердость, что подтверждает теоретические предпосылки о влиянии асимметричного тока на свойства осадков.
2. По результатам расчетов полного факторного эксперимента оптимальными режимами электролиза стали: катодно-анодный показатель 10,9-20%, кислотность электролита $pH=1,4$, причем плотность тока можно увеличить до 60 А/дм без заметного ухудшения качества осадков.
3. При обработке железного покрытия полученного на асимметричном токе стойкость инструмента выше как при лезвийной обработке, так и при абразивной. При этом шероховатость обработанной поверхности ниже.

5 РАСЧЕТ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Технико-экономическая эффективность от использования нового технологического процесса восстановления деталей железнением в горячих хлористых электролитах на асимметричном токе достигается за счет следующих факторов:

1. Уменьшение продолжительности получения гальванического покрытия большой толщины;
2. Уменьшения величинны припуска на механическую обработку за счет получения более равномерного покрытия;
3. Повышения стойкости инструмента.

Экономическая эффективность новой технологии определяется путем сравнения ее, с аналогичным процессом восстановления с использованием постоянного тока при электролизе. Объектом исследования является картер коробки переменных передач автомобиля КамАЗ-5320. Эта деталь выбрана за счет высокой эффективности ее восстановления, так как ее стоимость высока.

Экономическую эффективность ($\mathcal{E}_{\text{пол}}$) определяем как разность затрат изменяющихся частей себестоимости нанесения покрытия единицы продукции по старой (C_1) и новой (C_2) технологии, т.е. с использованием при технологии получения вторичной заготовки постоянного и асимметричного тока, по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{пол}} = C_{1\text{пол}} - C_{2\text{пол}} \quad (5.1)$$

Так как все подготовительные операции перед нанесением покрытия операции для обоих технологических процессов идентичны затраты на них можно не учитывать. Это также относится и к операциям, проводимым после нанесения покрытия, перед операцией растачивания восстанавливаемых поверхностей.

Отличие нового технологического процесса нанесения покрытия на асимметричном токе от старого на постоянном токе заключается в том что покрытие наносится с более высокой скоростью благодаря высокой плотности

тока ($D_{k2}=60 \text{ А/дм}^2$ вместо $D_{k1}=20 \text{ А/дм}^2$ для постоянного тока при получении покрытий превышающих толщину 0,7 мм на сторону). Скорость осаждения для предлагаемого технологического процесса $v_{oc2}=0,25 \text{ мм/ч}$, а для существующего технологического процесса $v_{oc1}=0,14 \text{ мм/ч}$. Для получения достаточного припуска (равного 1,2 мм на сторону), требующегося для компенсации деформации и износа посадочных поверхностей под подшипники КПП, продолжительность электролиза составит $t_2=4$ часа для нового технологического процесса и $t_1=7$ часов для старого.

Изменяющиеся части себестоимости восстановления детали будут вызваны изменением продолжительности электролиза и затрат на электроэнергию. Их значения C_1 и C_2 суммируются из затрат на оплату труда (C_{om}) и на расходные материалы и электроэнергию (C_{pm}):

$$C_t = C_{om1} + C_{pm2}; \quad (5.2)$$

$$C_2 = C_{om2} + C_{pm2}. \quad (5.3)$$

Затраты на оплату труда C_{om1} определяется по следующей формуле:

$$C_{om1} = t_1 m_1; \quad (5.4)$$

$$C_{om2} = t_2 m_2, \quad (5.5)$$

где $m = 1,30 \text{ руб/ч}$ тарифная ставка рабочего [80].

Затраты на расходные материалы и электроэнергию C_{pm1} :

$$C_{pm2} = C_{ж1} + C_{э1}; \quad (5.6)$$

$$C_{pm2} = C_{ж2} + C_{э2}, \quad (5.7)$$

где $C_{ж1}=0,96 \text{ руб.}$ (для $S_n=4,8 \text{ дм}^2$) затраты на реактивы для технологического процесса восстановления одной детали железнением [80].

Затраты на электроэнергию $C_{э1}$ для гальванической ванны определяются по формуле:

$$C_{э1} = \frac{t_1 / I_{к1} S_n V \eta_{\text{э}}}{\eta} \cdot 10^{-3}; \quad (5.8)$$

$$C_{э2} = \frac{t_2 / I_{к2} S_n V \eta_{\text{э}}}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad (5.9)$$

где $S_n=4,8 \text{ дм}^2$ площадь восстанавливаемых поверхностей, $V=12 \text{ В}$ напряжение на выходе блока питания, $\eta_{\text{э}}=0,022 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$ стоимость электроэнергии [79].

$\eta=0,9$ коэффициент полезного действия блока питания. Результаты расчета занесем в таблицу 5.1.

Расчеты показали что при внедрении новой технологии снижение затрат на нанесение покрытия составит 38 % на одну восстановленную деталь.

Таблица 5.1 - Показатели расчета экономической эффективности

№ п/п	Наименование показателя	Значения параметров
1	Плотность тока при электролизе, A/dm^2	$D_{k1}=20$ $D_{k2}=60$
2	Продолжительность электролиза, ч	$t_1=7$ $t_2=4$
3	Затраты на электроэнергию для гальванической ванны, руб	$C_{эл1}=20$ $C_{эл2}=34$
4	Затраты на реактивы для технологического процесса восстановления одной детали железнением, руб	$C_{ж1}=96$ $C_{ж2}=96$
5	Затраты на расходные материалы и электроэнергию	$C_{рм1}=116$ $C_{рм2}=130$
6	Затраты на оплату труда	$C_{от1}=910$ $C_{от2}=520$
7	Изменяющиеся части затрат себестоимости нанесения покрытия, руб	$C_{1полл}=1026$ $C_{2полл}=650$
8	Экономическая эффективность от внедрения нового технологического процесса при получении покрытия, руб	$\Delta_{полл}=376$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках написания настоящей работы был проведен ряд теоретических исследований и несколько экспериментов. В ходе осуществления этих процессов, задачи исследования были решены. В частности было получено железное покрытие на металлическом изделии с достаточным показателем толщины, который позволяет компенсировать возникающие деформации корпусных деталей с возможностью обрабатывать покрытие с использованием лезвийного инструмента.

Как показали эксперименты предложенный технологический процесс напеснения железа с использованием горячей хлористой электролитов и использованием асимметричного тока позволяет создать покрытие, толщина которого составляет более 1 мм на одну сторону. Процесс формирования при этом односторонний таким образом можно компенсировать повышенное значение создаваемого припуска, который требуется для осуществления восстановительных процедур.

В рамках исследования удалось также установить математические зависимости режимов предложенного технологического процесса от технологических характеристик создаваемого покрытия. В случае применения технологии показатель производительности при формировании вторичной заготовки будет демонстрировать повышенное значение в частности свыше 0,25 мм в час на одну сторону, этот показатель свойственен процессом электролиза с использованием постоянного тока так как таким образом обеспечивается возможность повышения его плотности.

Показатель стойкости как лезвийного, так и абразивного инструмента используемого для обработки покрытий созданных путем железнения, с применением предложенной технологии в 2 раза больше схожих технологий которые получались с использованием постоянного тока. Такая ситуация обеспечивается за счет и низкого показателя микротвердости и высокого показателя пластичности покрытия так как в данном случае обеспечивается меньший уровень наводороживания. В данном случае показатель

шероховатости также на 20% снижается в покрытиях с использованием асимметричного тока, таким образом, подшипник может быть посажен с большей надежностью.

При использовании методики для восстановления картера требуется на 4900 руб. меньше затрат.

Проведенные исследования позволяют также наметить пути дальнейшего совершенствования процесса восстановления деталей, требующих получения большой величины припуска, железнением на асимметричном токе.

Влияния различных форм тока в сочетании с различной величиной амплитуды и продолжительности импульсов на свойства получаемых гальванических осадков практически не отражено в литературе. Исследования в этой области позволили бы повысить механические свойства получаемых осадков и повысить производительность процесса электролиза. Также малоизвестно влияние частоты асимметричного тока на свойства покрытий и другие характеристики процесса электролиза.

Отдельно необходимо исследовать процесс осаждения гальванического железа на асимметричном токе в проточном электролите. Получение различных композитов (железо-медь, железо-никель и т.д.) с использованием асимметричного тока позволило бы полнее использовать положительные свойства состава осадка и высокую равномерность, низкую шероховатость поверхности благодаря процессу электроосаждения на асимметричном токе. Это показывает на необходимость исследования в этой области.

Исследования таких свойств покрытий, полученных на асимметричном токе, как износостойкость, усталостная прочность позволило бы полнее определить влияние формы тока и возможность использования покрытия для восстановления деталей, где эти свойства особенно важны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация капитального ремонта автомобилей. Под общ. редакцией д.т.н. Маслова П.П. "Техника", 1977. - 320 с.
2. Ждановский П.С. Надёжность и долговечность автотракторных Двигателей / П.С. Ждановский и др. - М.: Колос, 1974. - 233 с.
3. Справочник технолога авторемонтного производства.-М.: Транспорт, 1977.-432 с.
4. Азанатов Р.А. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ / Р.А.Азанатов, В.Г.Ажин, А.Т. Кулаков и др. - Набережные Челны: КамАЗ, 1994. -215 с.
5. Капитальный ремонт автомобилей; Под ред.Р.Е.Есенберкина. -М.: Транспорт, 1989.-335с.
6. Ачкасов К.А. Ремонт приборов системы питания и гидравлической системы тракторов, автомобилей и комбайнов / К.А.Ачкасов, В.П.Вечера. -М.: Высшая школа, 1965. - 275 с.
7. Кривенко П.М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных деталей / П.М.Кривенко, И.М.Федосов. - М.: Колос, 1980. -288 с.
8. Мелков М.П. Восстановление автомобильных деталей твёрдым железом / М.П.Мелков, А.Н.Швецов, И.М.Мелкова; 2-е изд., перераб. и доп.-М.Транспорт, 1982. 198 с.
9. Технология авторемонтного производства. Под ред. д.т.н. К.Т.Конкина. -М.:Транспорт, 1969. - 568 с.
10. Молодых Н.В. Восстановление деталей машин. Справочник / Н.В.Молодых, А.С.Зенкин. - М.: 1989. - 480 с.
11. Мелков М.П. Твёрдое осталивание автотракторных деталей / М.П.Мелков. -М.транспорт, 1971. -224 с.
12. Бабелко В.А. Восстановление и упрочнение крупногабаритных деталей автомобилей, тракторов и других машин твёрдым электролитическим железом и сплавом железо-никель: дис.кан.техн.наук. Саратов: 1964.-197 с.
13. Митряков А.В. Технологическое проектирование

механизированных и операторных линий железнодорожного транспорта / А.В. Митряков. - Саратов: Саратов. политех. ин-т, 1992. -184 с.

14. Бобанова Ж.И. Восстановление деталей машин электро-химическим способом / Ж.И.Бобанова, Л.И.Андреева. - Кишинев: Штиинца, 1984. с. 22 - 28.

15. Vaclav Landa, Jaromir Vitek Možnosti využiti galvanických slitinových povlaku typu Ni-Fe pro renovaci strojních součástí. Strojírenská výroba, 1985, № 7, s 832-835.

16. Куропяткин И.И. Экономическая эффективность гальванического производства и перспективы его развития. Дис.канд.экон.наук.-Минск, 1969.-203 с.

17. Калашников А.И. Восстановление и упрочнение деталей машин автоматической наплавкой в среде защитных газов / А.И.Калашников. Изд-во Саратов. ун-та., 1978.-176с

18. Плешко Е.Д. Износостойкость гальванических покрытий при трении со смазкой // Восстановление изношенных деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями /Е.Д.Плешко, Д.М.Эрлих, А.Д.Кетрарь: Меж-вуз.научн.сб. Кишин.сельхоз.ин-т. Кишинев, 1982.-С.60-63.

19. Ваграмян А.Т.-ЖФХ, 1954, 28, №4, с.612-617.

20. Бахчисарьянц Н.Г. Исследования в области электрохимии / Н.Г. Бахчисарьянц, Тр. МХТИ им. Менделеева, 1961, вып.32, с. 182-186.

21. Бахчисарьянц Н.Г. Науч. труды Криворожского горнорудного ин-та / Н.Г.Бахчисарьянц, 1961, 34, №7 с.792-796.

22. Флеров В.Н. - ЖФХ, 1961, 34, №7, с.792-796.

23. Кудрявцев Н.Г. Исследования в области электрохимии / Н.Г.Кудрявцев, Бек Р.Ю. Тр. МХТИ им. Менделеева, 1961, вып.32, с. 225-258.

24. Вене Ю.Я., Николаева С.А. - ЖФХ, 1955, 29, №5, с. 617-622.

25. Бахвалов Г.Т. Новая технология электроосаждения металлов. М., 1966, с 7-27.

26. Каданер Л.И. Новейшие достижения гальваностегии / Л.И. Каданер.

Изд. Харьковского гос. ун-та, 1951. - 182с.

27. Каданер Л.И. Труды совещания по электрохимии / Л.И. Каданер. Изд. АН СССР, 1953. -421с.

28. Бахвалов Г.Т. Электроосаждение металлов при периодическом изменении направления тока. Диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук, МИЦМиЗ им. М.И. Калинина, 1954.

29. Wvanglen C. Kgl. tekn. Hogskolas hande, 1955, №94, 42.

30. Швейц. пат. №294350,16/11954.

31. Алавердян О.Б. Внутренние напряжения в никелевых покрытиях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук, МИЦМиЗ им. М.И. Калинина, 1951

32. Рыкова А.В. Исследование влияния технологических факторов на внутренние напряжения в электролитических осадках хрома и никеля. Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук, МИЦМиЗ им. М.И. Калинина, 1951

33. Самарцев А.Г. Внутренние напряжения в электролитических осадках никеля \ А.Г. Самарцев, Лызлов Ю.В. Труды 1-й научно-технической конференции по вопросам интенсификации производства, Киев-Одесса, 1956

34. Шульгин Л.П. Электрохимические процессы на переменном токе / Л.П. Шульгин, из-во «Наука», Ленинградское отд., Л, 1974., 1-70.

35. Бахвалов Г.Т. Электроосаждение металлов с периодическим изменением направления тока / Г.Т. Бахвалов. Труды 2-й Всесоюзной конференции по теоретической и прикладной электрохимии, АН УССР, 1949, 202.

36. Поветкин В.В. Структура электролитических покрытий / В.В.Поветкин, И.М.Ковенский.-М.: Металлургия, 1989.-135 с.

37. Хлыстов А.В. Процесс железнения изношенных деталей с большой величиной припуска / А.В.Хлыстов, В.А.Бабетко // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сборник докладов шестой Российской научно - технической конференции. - Оренбург: ГОУ ОНУ, 2003.-С. 204-206.

38. Зильберман Г.М. Силы резания при точении электролитического

железа / Г.М.Зильберман, Ю.В.Щербаков // Обрабатываемость деталей после остативания и виброплавки» Труды ПГСИ, т. 55, Пермь, 1968.

39. Foley Edward F., Zinfond Henry B., Meyer Walter R., Plating, v.40, № 8, 1953; Proc. Amer. Electroplaters soc, v.40,1953.

40. Мелков М.П. Восстановление автотракторных деталей электролитическим остативанием / М.П. Мелков, Автотрансиздат, 1957.

41. Мелков М.П. Восстановление деталей машин способом электролитического остативания / М.П. Мелков, Труды военной академии БТ и МВ СА, Сборник №3-4(54-55), 1948.

42. Кудрявцев Н.Т. Восстановление изношенных деталей методом железнения / Н.Т.Кудрявцев, М.М.Мельникова, Л.А.Яковлева, Московский дом научно-технической пропаганды (МДНТП), 1958.

43. Чалагапидзе Ш.И. Исследование процесса железнения из ферросульфатного электролита с целью применения его для восстановления автотракторных деталей, Автореферат диссертации, Тбилиси, СХИ, 1959.

44. Карпетков В.Г. Исследование и разработка способа восстановления цилиндров ДВС твердым электролитическим железом, Дис. канд. техн. наук. - Саратов: СПИ, 1968, 70 с.

45. Раппорт Л.С. Исследование износостойкости железных покрытий / Л.С. Раппорт, Прогрессивные способы восстановления деталей машин и повышения их прочности». - Кишинев, 1979, С. 67 - 69.

46. Бабенко В.А. Восстановление и упрочнение крупногабаритных деталей автомобилей, тракторов и других машин твердым электролитическим железом и сплавом железо-никель, Автореф. дис. канд. техн. наук. -Саратов, -1964.

47. Митряков А.В. Надежность восстановительной технологии / А.В. Митряков. - Саратов: СГТУ, 1979,184 с.

48. Петров Ю.Н. Повышение надежности и долговечности деталей машин электролитическими железными покрытиями / Ю.Н.Петров, - Кишинев: Труды кишиневского СХИ, том 59,1970, С. 7 - 15.

49. Мелков М.П. Восстановление деталей автомобилей

электролитическим остаиванием / М.П. Мелков, Изд. Минкоммунхоза, 1954.

50. Мелков М.П. Восстановление деталей машин электролитическим остаиванием / М.П. Мелков, Вестник машиностроения, №6, 1952.

51. Боршов В.Ф. Опыт восстановления деталей остаиванием / В.Ф.Боршов, Доклады конференции по передовым методам ремонта и повышению долговечности машино-тракторного парка МТС и совхозов, Москва, 1955.

52. Дунишев П.Д. Установка для электролитического остаивания / П.Д.Дунишев, Сборник научных сообщений в помощь производству, САДИ, 1958.

53. Ямпольский А.М. Гальванические покрытия / А.М.Ямпольский. Учебник для ИТУ. М. -Машиностроение, 1978.

55. Иванов В.Т. Оптимизация электрических полей, контроль и автоматизация гальванообработки / В.Т.Иванов, В.Г Гусев, А.Н. Фокин, -М.: Машиностроение, 1986. - 216 с.

56. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении / И.И.Пляскин.- М.: Машиностроение, 1982. -176 с.

57. Вагнер Г. Основы исследования операций / Г.Вагнер. М.: Мир, 1973, 488с.

58. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А.Вознесенский, - М.: Статистика, 1974.-192 с.

59. Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов / В.Г.Горский, Ю.П.Адлер, А.М.Талалай, М.: Металлургия, 1978, 112с.

60.Савельев Н.М. Определение оптимального содержания хлористого железа в электролите остаивания / Н.М.Савельев, - В кн.: Централизованное восстановление деталей машин. Саратов, ЦПТИ, 1969, с.220-228.

61.Швецов А.П. Основы восстановления деталей остаиванием / А.Н. Швецов.-Омск, Зап.-Сиб.кн.изд-во, 1973, -143 с.

62. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов /Л.П.Рузинов.- М.: Химия, 1972. - 200 с.

63. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. РДМУ 109-77.- М.: Стандарты, 1978. - 63 с.
64. Митряков А.В. Получение прочносцепляющихся электролитических покрытий / А.В.Митряков.-Саратов: Сарат.ун-т., 1985. - 184 с.
65. Гинберг А.М. Оптимизация технологических процессов в гальванотехнике / А.М.Гинберг, Ю.В.Грановский, Н.Я.Федотова и др.- М.: Машиностроение, 1972.-128 с.
66. Теория вероятностей: Справочник по теории вероятности и математической статистике /Под ред. В.С.Королюка/.- Киев: Наукова думка, 1978.- 583 с.
67. Митряков А.В. Основы обеспечения надежности восстановительной Технологии/ А.В.Митряков. / Сарат. политехн. ин-т. – Саратов, 1989. 394 с.
68. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента П.Г. Кацев.-М.Машиностроение, 1974,-23 с.
69. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р.Шторм.- М.: Мир, 1970.- 368 с.
70. Солопкин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения /И.С.Солопкин.-Машиностроение, 1972,- 216 с.
71. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении / И.И. Пляскин.- М.: Машиностроение, 1982. -176 с.
72. Харитонов Л.Г. Определение микротвердости. Методика испытаний, измерения отпечатков, номограммы и таблицы для определения микротвердости / Харитонов Л.Г. - М.: Металлургия, 1967, 47 с
73. Боровиков Г.А.Выбор материала инструмента при тангенциальном резании деталей с металлопокрытиями гальванического железа / Г.А.Боровиков,А.Н.Витогралов// Восстановление и упрочнение деталей машин: Межвуз. научн. сб. - Саратов: Изд - во СГТУ, 2003. - С. 196 - 198.
74. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов / А.Д. Макаров. М.: Машиностроение, 1966.

75. Гушин А.Ф. Экспериментальные исследования стойкости рабочей поверхности шлифовального круга и правящего алмазного инструмента / А.Ф. Гушин // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей. Межвуз. научн. сб.-Саратов:СГТУ,1997.

76. Хлыстов А.В. Влияние элементов режима железнения на равномерность покрытия, полученного в «горячих» хлористых электролитах с использованием асимметричного тока / А.В. Хлыстов, В.А. Бабенко //Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: Межвуз. научн. сб. - Саратов: Изд - во СГТУ, 2004.-С. 102-105.

77. Хлыстов А.В. Микротвердость электролитического железного покрытия, полученного на асимметричном токе в горячем хлористом электролите/ А.В. Хлыстов, В. А. Бабенко //Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: Межвуз. научн. сб. -Саратов: Изд - во СГТУ, 2004. - С. 105- 107.

78. Гарагг - Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов / Л.И.Гарагг - Курек. Учеб. пособие для машиностр. Спец. Вузов. - М.: Высш.шк., 1985.-159 с.

79. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под общ. ред. К.М. Великанова. - Л.: Машиностроение, 1990. - 448 с

80. Общемашиностроительные нормативы времени на гальванические покрытия и механическую подготовку поверхностей до и после покрытия. -М.: Экономика. 1988. - 123 с

81. Митряков А.В. Проектирование технологических процессов восстановления и упрочнения деталей машин: Учеб. Пособие. Ч. 2. - Саратов: Изд-во СГТУ, 2001.-160 с.

82. Митряков А.В. Проектирование технологических процессов восстановления и упрочнения деталей машин: Учеб. Пособие. Ч. 1. - Саратов: Изд-во СГТУ, 2001.-360 с.

83. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справочник/В.П. Жедь, Г.В.

Боровский, Я.А. Музыкант, Г.М. Ипполитов. - М. машиностроение, 1987.-320с.

84. Прейскурант №18-05. Оптовые цены на инструмент и средства измерений: В 2 ч. -М.Прейскурантиздат, 1981.

85. Каданер Л.И. Электрические поля в электролизерах/Л. И.Каданер, Металлургиздат, Харьков, 1959

86. Измайлов А.В. О методах исследования рассеивающей способности электролитов. Журн. Физ. Химии, 1954, т. 28, в. 1, 179-185.

87. Каданер Л.И. Некоторые вопросы распределения тока и металла на электродах/ Л.И.Каданер. Научн. зап. Харьковск. Ин-та сов. торговли, 1954, в. 4, 205-217.

88. Каданер Л.И. Влияние микрорельефа на распределение тока на электродах/ Л.И.Каданер. Журн. прикл. химии, 1957, т.30, в.1, 72-80.

89. Петров Ю.Н. Электролитическое осаждение железа/Ю.Н. Петров и др.-Кишинев: Изд-во АН Молдавской ССР, 1990.-194 с.

ABSTRACT

for final qualifying work Zamaliev Irek Ilkhamovich on the theme: "Development and substantiation of the technology of restoration parts"

Final qualifying work is done on 99 pages. It contains 11 tables and 27 figures. List of references consists of 89 items.

The first Chapter describes the status and challenges of research technologies to restore parts of the dry topping. The analysis of the various forms of current in the electrolysis, there is information on the machinability of the iron coating. The section ends with a statement of purpose and objectives of the study. Also here are the brief conclusions section.

The second Chapter is devoted to consideration of essence and definition of the main process parameters of the proposed method of recovery.

In the third Chapter lays out the programme and methodology of experimental research. The criteria of selection of equipment, materials, mode of electrolysis. The technique for determining optimal regimes and the planning polnoformatnogo experiment.

The fourth Chapter is devoted to the experimental results. The results determine the optimal conditions of electrolysis. The obtained experimental data of the influence of process parameters on the microhardness, education dendritov and uniformity, abrasion resistance of the coating.

The fifth Chapter is devoted to a feasibility assessment.

The work ends with a conclusion.