

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Методика восстановления деталей автомобиля методом  
электрохимического натирания

Студент

И.А. Терехин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

канд. техн. наук, доцент И.В. Турбин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

В данной магистерской диссертации представлены результаты заключительного этапа обучения магистра по направлению 15.04.01 «Машиностроение».

Произведен анализ различных методов восстановления поверхности деталей, включая методы восстановления путем нанесения слоя металла на поверхность детали.

Была произведена разработка технологии восстановления картера коробки передач грузового автомобиля. Большое место в работе уделено процессу восстановления и обработки поверхности детали, с целью формирования поверхности, с эксплуатационными характеристиками не ниже заводских.

В работе произведен обзор способов и методик восстановления деталей автомобилей, на основе которого определены наиболее оптимальные приемы и методы проведения работ. Технологический раздел работы включает в себя разработанную технологическую карту восстановления картера коробки передач и разработку конструкции стенда для нанесения электрохимического покрытия на поверхность детали.

Произведены общие выводы по проделанной работе, отраженные в заключении.

## Оглавление

Введение .....	4
Глава 1 Восстановление подшипниковых отверстий корпусных деталей автомобильных агрегатов .....	11
1.1 Сущность процесса восстановления автомобильных деталей и обоснование необходимости восстановления .....	11
1.2 Анализ методов проведения технологического процесса восстановления подшипниковых отверстий картера .....	14
Глава 2 Методика восстановления деталей методом электрохимического натирания .....	36
1.3 Сущность процесса восстановления деталей натиранием .....	36
1.4 Исследование процесса проведения восстановления детали методом электрохимического натирания .....	44
1.5 Технологический процесс восстановления деталей методом электрохимического натирания .....	56
Глава 3 Обоснование эффективности восстановления деталей методом электрохимического натирания .....	62
1.6 Расчет экономической эффективности восстановления детали методом электрохимического натирания .....	62
1.7 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий .....	66
Заключение .....	73
Список используемых источников .....	76

## Введение

Восстановление деталей – набор методик возвращения деталям первоначального состояния, известный и применяемый достаточно давно. Широкое распространение эти методы получили еще в СССР, что объяснялось требованиями экономии в народном хозяйстве и бережным отношением к имеющимся ресурсам. Истинной причиной развития культуры восстановления изношенных деталей явилось то, что промышленность не справлялась с обеспечением потребности всех транспортных средств. Именно необходимость поддержания на постоянном уровне технической готовности транспортных средств явилось причиной внедрения методов восстановления в практику деятельности АТП и АРП на всей территории Советского Союза. Однако, после прихода капиталистических отношений и развития частного сектора в производстве, отношение к запасным частям изменилось. Появилось большое количество промышленных изделий, как от оригинального производителя, так и производимых сторонними организациями. Большое разнообразие и выбор запасных частей, а также сравнительная простота проведения работ с новыми запасными частями привели к практически полному исчезновению культуры восстановления деталей.

Однако, ситуация в экономике Российской Федерации в настоящее время меняется. Детали, которые ранее завозились из стран Восточной Европы и некоторых стран Юго-Восточной Азии становятся недоступными для использования. Также недоступны многие детали от оригинальных производителей. В перспективе складывающаяся ситуация заставляет вернуться к методикам восстановления, когда качество восстановления детали и затраты на совершение этих работ полностью соответствуют параметрам экономической эффективности.

Восстановление деталей автомобиля знакомо достаточно давно, о чем говорилось ранее. Методики восстановления значительно меняются с

появлением и внедрением новых производственных и технологических процессов.

Технологии восстановления деталей можно разбить на три основные группы по методам их осуществления. К первой группе относятся методы восстановления геометрических размеров деталей путем термической наплавки слоя металла на поверхность с последующей механической обработкой. Вторая группа включает различные способы напыления на поверхность металла, распыленного до состояния дисперсии в среде газа. Этот метод получил название газотермического напыления (ГТН). Третья группа – применение электрохимических способов восстановления, к которым относят электролитическое натирание и методы электрогальванического восстановления деталей.

Перечисленные методы восстановления в разное время нашли свое применение в практической деятельности специализированных предприятий автомобильного транспорта. Наибольшее распространение получили методы наплавки, ввиду их простоты осуществления. Однако, применение этого метода зачастую связано с риском температурного воздействия на поверхность изделия, что способно повлечь изменение в кристаллической структуре, а также способно вызвать коробление детали. С точки зрения наиболее щадящего воздействия применим метод вибродуговой наплавки. Однако, стоит отметить, что кроме риска температурного воздействия на деталь существует риск появления дефектов, связанных с наплавкой, а именно: попадание шлаковых включений, появление раковин и пор вследствие неравномерного остывания наплавляемого металла и т.п.

При нанесении покрытий на поверхность детали, кроме восстановления размеров, решается вопрос о формировании покрытия, увеличивающего эксплуатационный ресурс самого изделия. При этом, наносимое покрытие может обладать антифрикционными, противоизносными, коррозионностойкими характеристиками, либо сочетать различные из них. Существует несколько способов нанесения покрытий,

используемых в практике проведения восстановительного ремонта. К таким способам относятся:

- нанесение покрытий плазменным методом, данный метод эффективен с точки зрения скорости и качества формирования покрытия, но имеет высокую стоимость, что не позволяет его применять, например, в условиях ограниченного количества восстанавливаемых деталей;

- нанесение покрытий газоплазменным методом, данный метод имеет схожие по скорости и качеству наносимого покрытия показатели с плазменным методом, однако, при выполнении операций существует значительный риск перегрева детали, что ограничивает технологическое применение его на практике;

- нанесение покрытий электролитическим методом, данный способ лишен рисков перегрева металла, поскольку процесс протекает при температурах, не превышающих 60...80°C. Минусом данного метода является его низкая производительность, поскольку наращивание слоя требует времени на протекание процесса.

Одним из наиболее востребованных способов нанесения покрытия в среде газа является газотермическое напыление. Назначение метода – создание покрытия на поверхности деталей с целью увеличения их наружных размеров. Данный метод используется в практике восстановления деталей в течение длительного времени и зарекомендовал себя как простой и надежный метод, исключаящий перегрев детали и обеспечивающий формирование прочного поверхностного слоя с хорошей адгезией к подложке.

«Газотермическое напыление дает возможность наносить работоспособные покрытия практически любой необходимой толщины (от 0,01 до 10 мм и более).

Процесс напыления при нормальных условиях и режимах можно вести с нагревом изделия до температуры не более 100°C. При необходимости эта температура может быть снижена дополнительным охлаждением в процессе

напыления до 20—25°С. Таким образом, исключается опасность вредных температурных воздействий на основной металл изделия, что имеет место при сварке, наплавке и химико-термической обработке. В частности, при наращивании деталей наплавкой в результате термического влияния возникают внутренние напряжения, вызывающие остаточные деформации. Для снятия внутренних напряжений требуется общий предварительный подогрев и последующая термическая обработка наплавляемых деталей. Это ведет к их короблению и изменению размеров ранее обработанных поверхностей.» [28]

«Создание участка по восстановлению деталей поможет решить многие проблемы, в частности не придётся закупать новые детали, а восстановление старых может занять минимум времени. При этом восстановленные детали полностью удовлетворяют техническим требованиям, а кое в чём даже превосходят новые, в частности по прочностным характеристикам.

Но в любом случае, после проведения процедуры восстановления поверхности шеек коленчатого вала остаются вопросы по долговечности подобного покрытия и качества нанесенного покрытия. Технологией, которая позволяет решить вопрос качества и надежности покрытия является технология гидродробеструйного упрочнения поверхности коленчатого вала.» [19], [24]

«Повышение качества и надежности восстановленных коленчатых валов, за счет создания внедрения новых ресурсосберегающих технологических процессов, повышения их производительности требует не столько обеспечения точности размеров, но и заданных физико-механических свойств поверхностного слоя; остаточных напряжений, наклепа (степень и глубина), рельефа микрогеометрии, которые имеют в большинстве случаев превалирующее значение в обеспечении надёжной работы детали и всего изделия. На сегодняшний день наиболее актуальной проблемой является восстановление геометрических размеров коренных и

шатунных шеек без существенного снижения усталостной прочности коленчатых валов.» [1]

Восстановление деталей электрохимическим методом – способ весьма перспективный, но требующий тщательного и сложного технологического подхода. Преимуществом этого метода будет являться нанесение покрытия наиболее аккуратным и точным образом. Недостатком метода является тот факт, что покрытие невозможно нанести толстым слоем (максимальная толщина осаждения металла на поверхность составит от нескольких микрон до 0,5 мм). Кроме того, предъявляются жесткие требования к качеству поверхности, которое обеспечивает сцепление нанесенного слоя с основной подложкой. Эти требования ограничивают применение метода нанесения гальванических покрытий теми деталями, износ которых не имеет критических значений и которые могут быть восстановлены в достаточно ограниченном диапазоне.

Как правило, метод восстановления деталей путем электрохимического натирания может быть применен к корпусным деталям, таким как блоки цилиндров, картеры редукторов и коробок передач. Восстановлению в таких деталях как правило подвергаются посадочные отверстия под подшипники, износ в которых редко имеет абразивную природу и не имеет значительных величин, которые бы потребовали нанесения толстого слоя материала. Как правило, именно корпусные детали являются наиболее дорогостоящими и требуют наибольших материальных затрат при проведении ремонта.

В связи с ростом спроса на применение промышленных способов восстановления автомобильных деталей, в качестве темы диссертационного исследования взята тема «Методика восстановления деталей автомобиля методом электрохимического натирания».

Наиболее подробно процессы восстановления деталей автомобилей различными методами, предполагающими нанесение дополнительного покрытия в машиностроении и технологических процессах восстановления деталей рассматриваются в научных работах таких авторов как Филонов



И.П., Баршай И.Л., В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе, Петросов В.В. и ряд других авторов.

В рамках диссертационных исследований проблемы восстановления деталей в рамках проведения капитального ремонта узлов и агрегатов транспортного средства рассматривали и предлагали пути их рения такие авторы как Жирнов А.А., Андрушевич А. А., Анисович А.Г.

Теоретико-методологическую базу исследования составили научные работы и исследования, посвященные вопросам восстановления поверхности деталей, упрочнения поверхности изделий методами поверхностно-пластического деформирования, при проведении послеремонтного воздействия на поверхность детали.

«Основные инструменты исследования: методы математического и экономического моделирования, математико-статистические методы, метод сравнения и аналогий, эконометрические методы.» [11]

Информационная база исследований представлена статистическими данными, собранными при проведении экспериментальных исследования, направленных на изучение процессов восстановления деталей автомобиля различными методами и методом электрогальванического натирания, в частности.

Научная новизна исследований: состоит в разработке технологического процесса восстановления поверхности детали методом электрохимического натирания и обоснованием различных режимов проведения технологического процесса.

Практическая значимость исследования состоит в разработке комплексной технологии восстановления геометрических параметров корпусных деталей методом нанесения слоя металла методом электрохимического натирания, с проведением последующих работ, направленных на восстановление качества поверхности, соответствующего параметрам, предусмотренных производителем.

«По теме диссертационного исследования опубликована 1 научная работа, общим объемом 0,8 печ.л.» [11]

«В первой главе магистерской диссертации рассматриваются теоретические вопросы, посвященные различным методам восстановления. Рассматриваются основные характеристики конструкции и виды износа, определяются возможные методы восстановления геометрии и производится их сравнительный анализ.» [11]

Вторая глава рассматривает возможность восстановления поверхности методом электрохимического натирания на специализированном стенде, на примере восстановления картера коробки передач грузового автомобиля. Производится исследование восстановления корпусных деталей методами электрохимического натирания, в соответствии с полученным заданием, в рамках диссертационного исследования. Представлены основные результаты исследований, в виде разработанных и полученных экспериментальным путем параметров нанесения покрытия на поверхность корпусной детали. Проведена разработка технологического процесса восстановления детали и разработка экспериментальной установки электрохимического натирания, как часть технологического процесса восстановления геометрии корпусной детали.

В третьей главе диссертационного исследования выполнен расчет экономического эффекта от предлагаемой в рамках исследования технологии восстановления. Оценка эффективности осуществляется на основе сравнительного анализа разрабатываемой технологии в сравнении с традиционными методами восстановления, в частности с напылением на поверхность детали.

В заключении даются основные выводы по разделам и делается общий вывод по проделанной работе в рамках диссертационного исследования и по достижению поставленных задач, в рамках магистерской диссертации.

## **Глава 1 Восстановление подшипниковых отверстий корпусных деталей автомобильных агрегатов**

### **1.1 Сущность процесса восстановления автомобильных деталей и обоснование необходимости восстановления**

Эффективность работы автомобильного транспорта базируется на надежности подвижного состава, которая обеспечивается в процессе его производства, эксплуатации и ремонта. Обеспечение эффективной работы автотранспортного предприятия возможно при условии обеспечения высокой степени готовности подвижного состава и одновременном снижении стоимости на поддержание этой технической готовности. В современных экономических реалиях подобный подход возможен при условии обеспечения восстановления деталей, имеющих износ на уровне критического либо докритического уровня, вместо полной замены детали автомобиля, что зачастую связано с повышенными экономическими издержками.

«Для поддержания подвижного состава в исправном, работоспособном состоянии в автотранспортных предприятиях (АТП) проводится периодическое техническое обслуживание (ТО) и при необходимости текущий ремонт (ТР), который осуществляется путем замены отдельных узлов, агрегатов и деталей. При длительной эксплуатации автомобиля достигают такого состояния, когда их ремонт в условиях АТП становится технически невозможным или экономически нецелесообразным. В этом случае они направляются в капитальный ремонт (КР) на авторемонтное предприятие (АРП). Текущий ремонт должен обеспечить гарантированную работоспособность автомобиля на пробеге не менее чем пробег до очередного ТО-2. капитальный ремонт должен обеспечить исправность и полный либо близкий к полному (не менее 80%) ресурс автомобиля или агрегата путем восстановления и замены любых сборочных единиц и деталей

включая базовые. Основным источником экономической эффективности капитального ремонта является использование остаточного ресурса их деталей.» [1], [30]

«Около 70...75% деталей автомобилей поступивших в капитальный ремонт могут быть использованы повторно либо без ремонта, либо после небольшого ремонтного воздействия (восстановления деталей). В результате сохраняется значительный объём прошлого труда, берегаются материалы и освобождаются производственные мощности для изготовления новых автомобилей. Так как необходимость и целесообразность ремонта автомобилей обусловлено, прежде всего, не равно прочностью их составных частей (сборочных и деталей), т.е. детали изнашиваются неравномерно, имеют различный срок службы.» [2], [29]

Резервом фонда запасных частей были и будут оставаться детали, подвергшиеся различным видам износа, не критично влияющим на общее состояние структуры самой детали. Как правило, при механическом износе деталь сохраняет до 99% собственной массы, в износ уходит незначительная часть металла. Поэтому подобные детали при ремонте не утилизируются, а направляются на ремонтные предприятия с целью проведения операции по их восстановлению. Если ранее это явление имело системный характер то на современном этапе оно имеет вид децентрализованного, когда каждое предприятие самостоятельно принимает решение о проведении подобных восстановительных операций. Важным аспектом этого действия является то, что восстановленные детали значительно закрывают потребности автотранспортных предприятий в запасных частях и деталях. Также немаловажно при применении восстановления в практике деятельности предприятия обеспечение надежности восстановленной детали на уровне не ниже новой.

Подшипниковые отверстия подвержены интенсивному износу и зачастую служат причиной проведения ремонта базовых корпусных деталей по причине выхода их из строя. Восстановление отверстий зачастую связано

с работами большой трудоемкости и длительности, что приводит к простоям агрегата в ремонте, значительным трудозатратам. Существует много методик, позволяющих производить восстановление отверстий, к ним относятся:

- переточка под больший размер: сопряжено с большим объемом токарно-фрезерных работ. Данный метод не всегда может быть применен, в частности по причине трудности подбора подшипника, аналогичного внутреннего диаметра при большем внешнем, в отдельных случаях переточка эффективна, особенно при большом износе посадочного отверстия;

- восстановление детали методом наплавки, связан с большой степенью неравномерности нанесения покрытия, что требует последующей слесарной обработки, а также трудностью контроля процесса нанесения наплавляемого слоя;

- использование электролитического натирания, результатом является нанесение покрытия, которое по качеству физико-механических свойств не отличается от исходной поверхности, что исключает последующую механическую обработку, также в процессе натирания достаточно просто контролировать толщину наносимого слоя, а сам процесс может быть осуществлен в условиях АТП или АРП без приобретения дорогостоящего оборудования.

«Метод натирания один из наиболее перспективных методов нанесения гальванических покрытий. Этот процесс относится к вневанным способам наращивания на поверхность гальванических покрытий. Сущность его заключается в том, что к детали (катоде) подключают провод, идущий от отрицательного полюса источника питания постоянным током. Анодом служит угольный или металлический стержень, который обертывают специальным адсорбирующим материалом, пропитывают электролитом и соединяют с положительным полюсом. Переход металла с электролита на восстанавливаемую деталь осуществляется во время перемещения анода по покрываемой поверхности. Материал, на который постоянно поступает

электролит, служит как бы электролитической ванной, и при включенном токе начинается процесс электролиза. Положительно заряженные ионы металла, находящиеся в электролите, соприкасаясь с поверхностью отрицательно заряженной детали, восстанавливаются и отлагаются в виде атомов металла.» [3], [27]

Восстановление деталей автомобиля очень важно в современных условиях функционирования автотранспортных предприятий. Различные методы позволяют производить работы, используя средства технического контроля, благодаря чему качество восстановленной поверхности мало будет отличаться от заводского. Подобные методики могут быть использованы при условии разработки технологии проведения работ. Практической задачей магистерской диссертации будет являться разработка пошаговой технологии проведения восстановительных работ методом электролитического натирания. В качестве примера применения технологии нами будет использован картер коробки передач грузового автомобиля, как наиболее подходящей для проведения подобного вида работ и как деталь, требующая высоких затрат при ее замене на новую.

## **1.2 Анализ методов проведения технологического процесса восстановления подшипниковых отверстий картера**

Применение методов восстановления при ремонте автомобилей не является чем-то новым или появившемся недавно. Восстановление деталей находит свое применение в широком спектре работ, связанных с капитальным ремонтом транспортных средств. В первую очередь это связано с вопросами экономии на закупке новых деталей. Дело в том, что износ, который приводит к негодности изделия, затрагивает сравнительно небольшую часть изделия, как в объёме, так и по массе. Поэтому нанесение металла на место износа, при сохранении основной массы детали, является

сравнительно выгодным с экономической точки зрения. Однако, есть ряд аспектов, которые вносят свои коррективы в процесс ремонта, а именно:

- сцепление наносимого материала с материалом самой детали (подложкой) не во всех случаях является абсолютно надежным. Это способно привести к отслаиванию нанесенного металла и выходу восстановленной детали из строя. Поэтому, различные способы восстановления подразумевают обеспечение повышенной адгезии металла с подложкой, что связано с обработкой поверхности детали и подготовкой поверхности (нанесение рисок и обтачивание поверхности подложки, формирование микрорельефа абразивом, обезжиривание и обеспыливание поверхности и т.п.);

- наносимый материал в силу особенностей процесса по своим физико-химическим характеристикам может отличаться от материала подложки, ввиду этого, покрытие в процессе эксплуатации может вести себя иначе, нежели оригинальная деталь, эта особенность подразумевает нанесение покрытия материалом, минимально отличного от материала основы;

- некоторые виды восстановления непригодны для деталей, чувствительных к термообработке и поэтому не могут быть применены или применение их ограничено, для их восстановления требуется разработка и внедрение методов, не связанных с нагревом поверхности изделия;

- точность нанесения покрытия на подложку недостаточно высокая, это требует применения последующей механической обработки для восстановленной детали. Причем, механическая обработка после нанесения покрытия требует как восстановления шероховатости поверхности, так и размеров и точности обработки поверхности, с целью обеспечения габаритных размеров, предусмотренных заводом изготовителем.

«Опыт работы фирмы Public Service Inc (США) показывает, что восстановление валов в три раза дешевле изготовления новых деталей.

Коленчатый вал традиционно входит в номенклатуру деталей, восстанавливаемых методом газотермической наплавки (ГТН).

В ИЭС имени Патона разработаны технология и оборудование для автоматической наплавки коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130. Технология основана на применении самозащитной проволоки и техники наплавки с поперечными па всю ширину шейки колебаниями электрода. Наплавленный металл типа 35Х4ГГСМ имеет твердость HRC 48-54, обладает повышенной стойкостью при трении в условиях окислительного износа.

Значительное тепловое воздействие на материал основы оказывается при любом способе наплавки. Особенно вырастает опасности возникновения трещин при наплавке чугуна. Возникновение трещин ведет к уменьшению выпуска продукции и увеличению стоимости восстановления. Эти причины заставили компанию CPR Industries из Сана-Оль-Нойте, Калифорния отказаться от наплавки под сдоем флюса и перейти к восстановлению чугунных коленчатых валов методом электродуговой металлизации. Два фактора заставили компанию принять такое решение: то, что напыляемый слой не создает зоны подвергаемой воздействию тепла, и то, что напыляемый слой обеспечивает очень хорошие характеристики смазываемости. Ввиду его уникальной способности удерживать масла. Компания выбрала установку для электродуговой металлизации модели VT-600, производимую компанией Wall Colony Corp, Дейтрот, Мичиган.» [5], [42].

Газотермическая наплавка широко применяется в практике восстановления деталей и на российских (советских) предприятиях машиностроительной отрасли. Известно множество научных работ и практических исследований, посвященных вопросам восстановления этим способом. Также значителен перечень используемых при наплавке материалов, например широко используются при наплавке стали У10, 40Х13, 11Х18МВД; Х20Н80 и другие легированные стали.

Принцип нанесения покрытия подобным методом, следующий: напыляемый материал, нагревается до состояния испарения, после чего



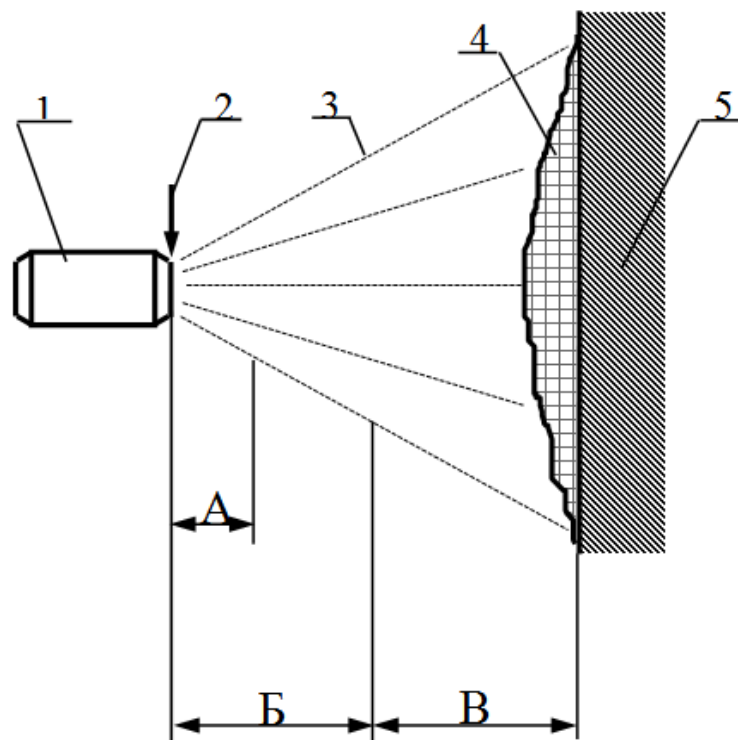
направляется на поверхность, где он охлаждается и оседает в виде частиц металла. Результатом осаждения мельчайших частиц металла на поверхности детали будет являться образование слоистой структуры, которая будет образовывать новое покрытие, обладающее физическими характеристиками, минимально отличающимися от исходного материала.

«В высокотемпературный источник нагрева 1, напыляемый материал может подаваться в виде порошка или проволоки (прутка) 2 (рисунок 1). В случае нанесения покрытий из проволоки, она нагревается, плавится. При напылении порошков, их твердыми вводят в высокотемпературный поток, где они нагреваются в период движения на некотором участке А. Одновременно частицы распределяются в газовом потоке и ускоряются им на участке Б. Участок Б обычно протяженнее участка А. Далее на участке В частицы 3 направленно перемещаются к основе 5 и образуют на ней покрытие 4. При напылении частицы переплавляются, испаряются и вступают в химическое взаимодействие с нагретым газом и окружающей средой. Удар и деформация частиц приводит к их чрезвычайно быстрой кристаллизации и охлаждению. Большим достоинством технологии газотермического напыления является возможность регулирования в процессе напыления состава материала и структуры покрытия от обычной до мелкокристаллической и аморфной, что дополнительно сообщает им комплекс ценных свойств.» [26], [32]

«Существуют следующие виды газотермического напыления:

- газопламенное напыление (Flame spraying);
- плазменное напыление (Plasma spraying);
- плазменно-дуговое напыление;
- высокочастотное плазменное напыление;
- электродуговое напыление (Electric arc spraying);
- детонационное напыление (Detonation spraying);
- напыление в контролируемой атмосфере;
- напыление в динамическом вакууме;
- тигельное напыление;

- инертно плазменное напыление;
- внутреннее плазменное напыление.» [16]



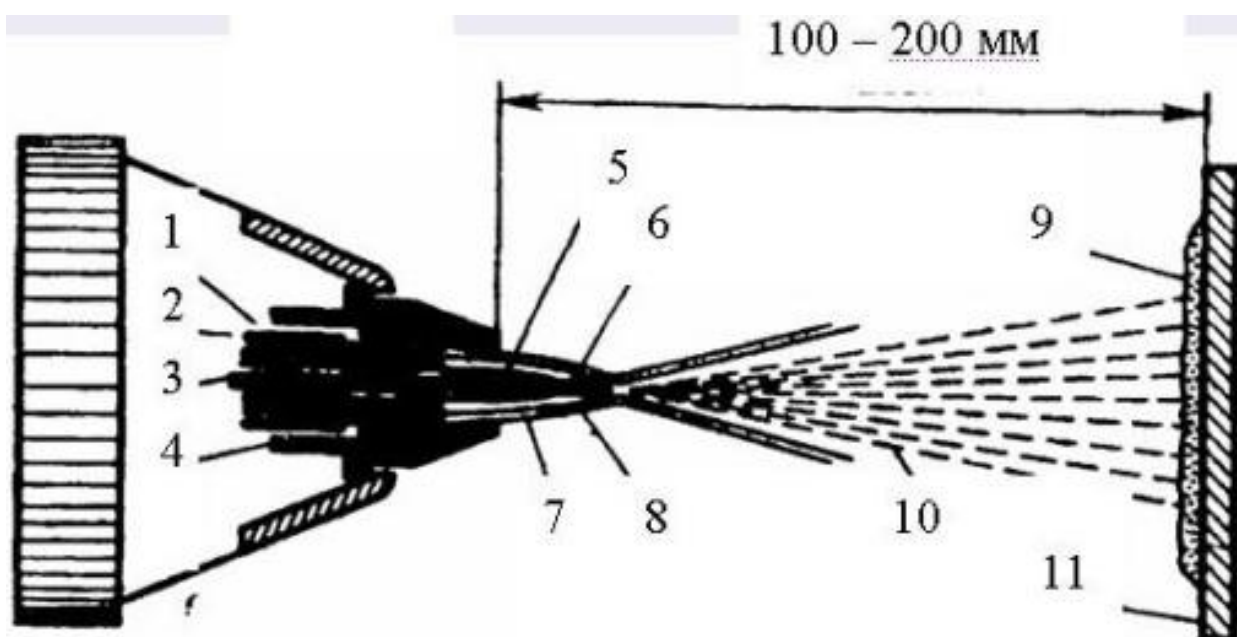
А - дистанция, на которой происходит нагрев напыляемого материала; Б - дистанция, на которой частицы ускоряются газовым потоком; В - область свободного движения частиц.

Рисунок 1 – Схема процесса газотермического напыления

Газотермическое напыление в качестве энергии использует энергию сгоревшей газовой смеси. Хотя на практике, для достижения большей температуры горения, применяется чистый кислород в качестве окислителя, а горение производится в контролируемой среде. В зависимости от агрегатного состояния напыляемого материала, различают следующие виды газотермического напыления:

- порошковое;
- прутковое;
- проволоочное.

«На рисунке 2 показан принцип проволоочного газопламенного напыления. Прутковое напыление производится аналогичным образом. В обоих случаях напыляемый материал в виде проволоки или прутка подается через центральное отверстие горелки и расплавляется в пламени. Струя сжатого воздуха расплывает расплавленный материал на мелкие частицы, которые осаждаются на обрабатываемой поверхности. Подача проволоки производится с постоянной скоростью роликами, приводимыми встроенной в воздушную горелку турбиной, работающей на сжатом воздухе, используемым для напыления, или электродвигателем через редукционный механизм. При этом необходима точная регулировка скорости вращения турбины или электродвигателя.» [32], [4]



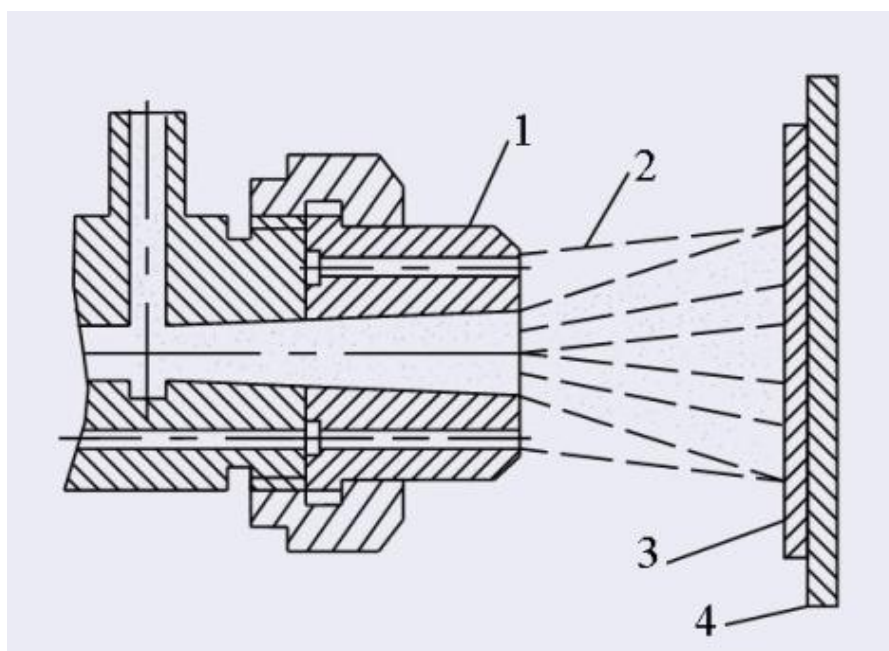
1 - сжатый воздух; 2 - ацетиленокислородная или пропано-кислородная горючая смесь; 3 - проволока; 4 - насадок; 5 - ядро ацетиленокислородного пламени; 6 - оплавливающийся конец проволоки; 7 - факел пламени; 8 - воздушный поток; 9 - покрытие; 10 - поток частиц напыляемого материала; 11 - основной материал.

Рисунок 2 – Газопламенное напыление проволокой

«На рисунке 3 показан принцип газопламенного напыления порошкового материала. Напыляемый порошок поступает в горелку сверху из бункера через отверстие, разгоняется потоком транспортирующего газа (смесь кислород – горючий газ) и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагрев. Увлекаемые струей горячего газа частицы порошка попадают на напыляемую поверхность. В порошковых горелках, как и в проволочных, подача напыляемого материала в пламя и разгон образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.

Редуктор снижает давление сжатого воздуха, поступающего из воздушной емкости, до 3,0-6,0 кгс/см<sup>2</sup>, а осушитель удаляет из воздуха влагу и масло.» [25], [27]

«В большинстве случаев в качестве горючего газа используют ацетилен. Можно также применять пропан, водород или метилацетиленпропан, который предварительно подвергают стабилизации.» [6]



1 — сопло; 2 — факел; 3 — покрытие; 4 — подложка

Рисунок 3 – Схема газопламенного напыления порошкового материала с помощью транспортирующего газа

«Метод плазменного напыления отличается высокой температурой струи. Пористость покрытия составляет от 2 до 15%, а адгезия около 25 - 50 МПа. Данный метод нами используется, как правило, для нанесения керамических покрытий (антифрикционных, теплозащитных и др.).

Толщина покрытий может быть обеспечена от 0,5 до 20 мм

Номенклатура обрабатываемых деталей и агрегатов:

- штоки поршневых компрессоров (покрытия из карбида вольфрама и др.)
- плунжера насосов (покрытия из карбида вольфрама и др.)
- каландровые и другие валы (покрытия из карбида вольфрама и др.)
- корпуса электродвигателей и нефтяных погружных насосов (хромоникелевые покрытия)
- твердые подшипники скольжения (покрытия из карбида вольфрама и оксида алюминия)
- мягкие подшипники скольжения (покрытия из баббитов)
- жаростойкие покрытия
- другие высококачественные покрытия» [4]

«Инертно плазменное напыление (ИПН) используется для высококачественного нанесения любых порошковых материалов на поверхность изделий. Процесс осуществляется в зависимости от требований к покрытиям в открытой камере или в камере с контролируемой средой и давлением. Оригинальная конструкция плазмотрона позволяет получить достаточно высокой мощности плазменную струю из аргона при относительно низком значении тока дуги (до 300 А). Можно применять смеси газов на основе аргона с добавлением азота, водорода, гелия. Создаются наполненные профили температуры и скорости плазмы. Равномерный нагрев и ускорение напыляемого материала. Исключается нежелательный эффект химического взаимодействия материала с активными

составляющими плазмы. Обеспечиваются высокое качество покрытий и стабильность процесса напыления.» [31], [32]

Ресурс работы плазмотрона составляет до 800 часов, что является значительным показателем для промышленного оборудования, работающего в условиях высокого температурного нагружения.

«Область применения. Упрочнение поверхности ответственных узлов и деталей машин и механизмов. Нанесение легко окисляющихся материалов. Создание изделий из композиционных материалов практически любого состава и соотношения.» [7]

«Подводимый к горелке кислород, проходя через инжектор, создает в нем разряжение, в результате чего в кольцевую камеру засасывается ацетилен и смешивается с кислородом. В камере имеются 8 сопел, расположенных симметрично. Кислородно-ацетиленовая смесь, фокусируется с образованием резкой границы в структуре пламени.

Через центральный канал подается с определенной скоростью и определенного состава напыляемый материал. Порошковый материал, в зависимости от назначения детали, меняет свой химический состав (упрочняющая и пластифицирующая фаза) вплоть до включения твердой смазки в виде плакированного графита. Газопламенная горелка может работать в любом пространственном положении: она может быть закреплена неподвижно или в специальном приспособлении, которое перемещается вдоль вращающегося изделия. Подача кислорода и ацетилена - от баллонов через специальные редукторы и ротаметры. Установка позволяет наносить покрытия из различных металлов, керамики, а также из порошков самофлюсующихся и композиционных материалов.» [21], [33]

Скорость напыляемых частиц превышает скорость звука, благодаря применению в конструкции горелки сопла Лавалья, которое фокусирует поток частиц. Также сопло Лавалья превращает поток частиц в ламинарный, благодаря чему скорость частиц в ядре потока и на его периферии малоотличима. Это позволяет формировать слои наносимого покрытия

равномерно, поскольку адгезия потока будет максимально равномерной. Воздействие потока на подложку также будет минимизировано, а значит температурное воздействие на деталь будет минимизировано, что позволит избежать перегрева при проведении напыления.

При проведении напыления температура поверхностного слоя подложки не превышает 120...180°C, что в первую очередь достигается за счет интенсивного обдува газовым потоком, существенно снижающим температуру. Активно этот способ напыления применяется при формировании износостойких покрытий на основе металлокерамики и карбидных сплавов, поскольку именно эти материалы возможно изготовить в виде порошка, который вводится в поток пламени при помощи дозатора. При помощи подобного напыления возможно получение износостойких покрытий твердостью 72...74 HRC и покрытий с высокими антикоррозионными свойствами.

«Также данный способ позволяет наносить на валы покрытия, обладающие высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, коррозионной стойкостью (в том числе и в агрессивных средах). При этом покрытия характеризуются очень высокой адгезией (более 8 кг/мм<sup>2</sup>) и плотностью (плотность покрытия не уступает плотности литого металла). Твердость покрытий определяется наносимым материалом и может быть обеспечена до 74 единиц HRC.» [25], [8]

«Высокая прочность сцепления и минимальная пористость, получаемые при использовании данного метода, позволили успешно восстанавливать изношенные рабочие поверхности валов, плунжеров, штоков, требующих высокого класса чистоты поверхности при окончательной обработке. Ресурс работы изделий с данными покрытиями увеличивается в несколько раз.» [34]

«Общие требования к установкам (аппаратам) для газотермического напыления, заключаются в следующем: получение стабильного потока напыляемых частиц заданной формы; регулирование потока напыляемых

частиц по производительности, температуре и скорости; обеспечение высоких значений энергетических коэффициентов распыления  $n_n$ ; возможность механизации и автоматизации процесса; высокая долговечность и надежность; безопасность и удобство эксплуатации; экологическая приемлемость; высокая производительность процесса и удельная производительность аппарата; минимальная материалоемкость и небольшая стоимость. Установки классифицируют в зависимости от метода напыления, вида подводимой энергии, уровня механизации и формы распыляемого материала.» [9], [35]

Установки для проведения работ по напылению производят российские производители. Как правило, это установки для напыления порошковыми материалами и проволокой. В качестве горючего газа используется кислород-ацетилен, пропан-бутановая смесь или MAP-газ. Подача газа к горелке из баллона производится по рукаву через газовый редуктор, снижающий давление до требуемой для проведения работы значений. Как правило, горение производится при давлении 0,02...0,03 МПа. Горелка, через которую производится напыление, оборудуется подающим устройством, через которое порошок или проволока подается в зону горения и превращается в поток распыленных частиц. Механизм подачи является неотъемлемой частью устройства для нанесения покрытий.

Важным и ответственным узлом устройства для нанесения покрытия является распылительная головка. Выделяют два основных типа распылительных головок:

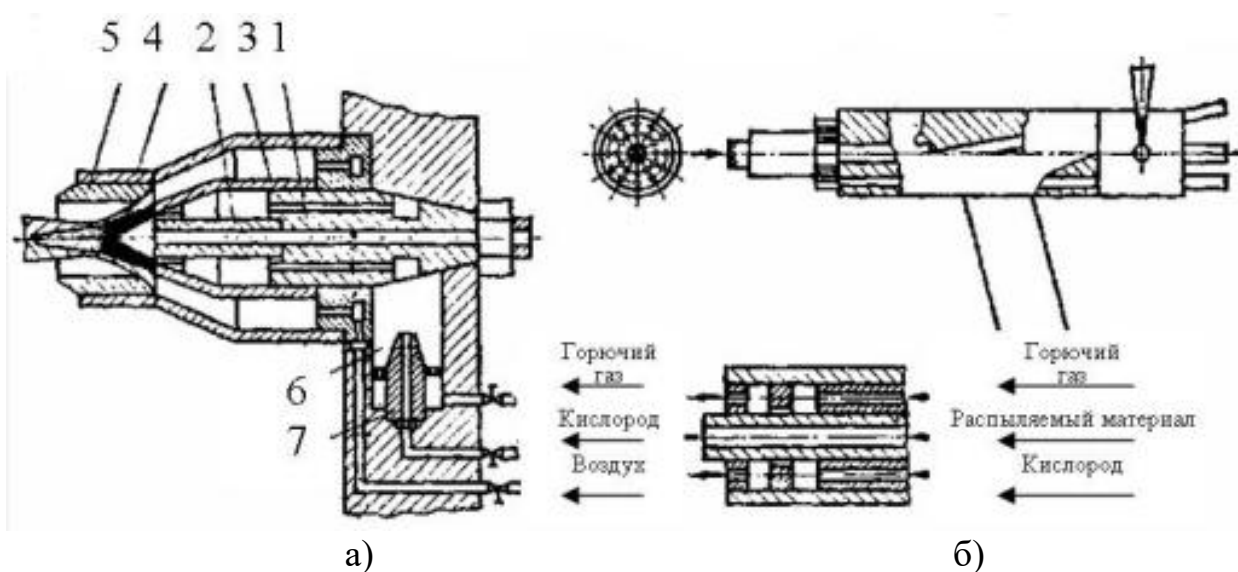
- инжекторная головка;
- безинжекторная головка.

На рисунке 4а приведена примерная конструктивная схема инжекторной головки.

«В корпусе головки 1 размещены кольцевой канал и, перпендикулярно ему, продольные по периферии. Центральный канал с наконечником 2 предназначен для подачи распыляемого материала. Корпус головки снабжен газовым соплом 3 с рассекателем горючей смеси. Для проволочного и иногда порошкового напыления предусмотрено воздушное обжимное сопло 5 с



воздушным колпаком 4 и соответствующие коммуникационные каналы. Для подачи горючего газа в смесительную камеру 6 предусмотрен инжектор 7. К инжектору подводится кислород под давлением 0,2-0,4 МПа. На выходе из инжектора развивается высокая скорость истечения кислорода и соответственно этому местное разрежение. Происходит подсос горючего газа через периферийные каналы инжектора. При наличии инжектора распылитель может работать с применением горючего газа, находящегося под низким давлением. Это важно для ацетилена, получаемого на месте производимых работ от переносных ацетиленовых генераторов низкого давления (0.005-0.01 МПа). При более высоких давлениях горючего газа роль инжекции снижается. В случае равных или близких давлений кислорода и горючего газа может производиться безинжекторная подача (рисунок 4б).» [10]



а) инжекторного типа, б) безинжекторного типа

Рисунок 4 – Конструктивная схема газопламенного распылителя

Наряду с напылением металла применяют метод напыления металла путем расплавления присадочной проволоки. Принцип подобного покрытия идентичен производству сварочных операций в среде защитного газа. Устройства подобного типа называют металлизаторами.

Принцип работы также в целом похож на работу сварочного полуавтомата. Присадочная проволока подается в зону горения газа, в результате происходит расплавление проволоки, дробление ее на мельчайшие частицы и последующий перенос потоком газа металлических частиц на подложку.

Конструкция металлизатора, на примере металлизатора МГИ-4 представлена на рисунке 5.

«Металлизатор МГИ-4 (рисунок 5) состоит из следующих основных частей: турбинного привода 17 с индукционным регулятором подачи проволоки; двухступенчатого червячного редуктора (5, 7, 15, 14); механизма подачи проволоки (2, 3, 4, 6,10) и распылительной головки (19,11).

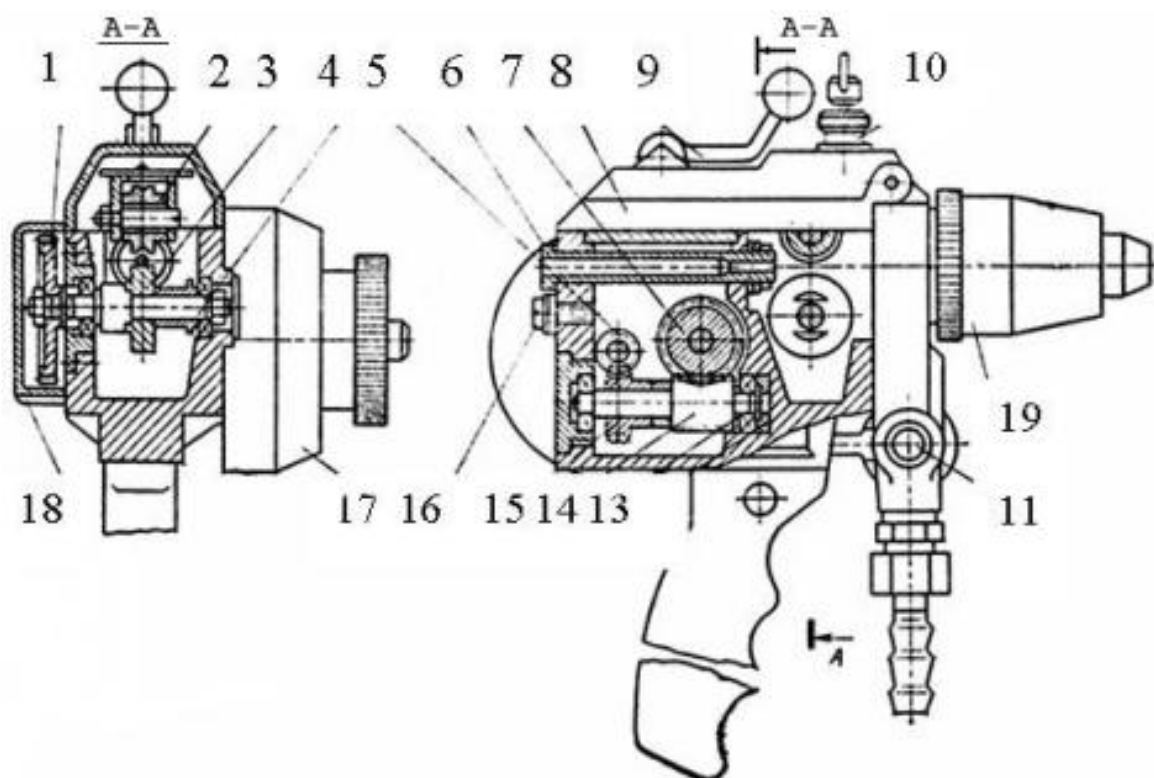
Турбинный привод служит для непрерывного вращения ведущего ролика 3 механизма подачи проволоки и плавной регулировки его частоты вращения.

Двухступенчатый редуктор (5, 7, 15, 14) расположен в герметичном отсеке корпуса металлизатора (рисунок 5). На выходном валу 4 редуктора установлена сменная шестерня 1. Нажимной ролик 2 свободно вращается на оси, закрепленной на откидной крышке 8. Усилие, создаваемое нажимным роликом, передается с помощью пружинного устройства, расположенного на крышке. Во время работы крышку закрывают и фиксируют. Рукоятка позволяет быстро прижать нажимной ролик к проволоке для ее подачи или отжать его. В последнем случае крышку необходимо приоткрыть.» [12], [36]

«Для работы металлизатора МГИ-4 необходимо иметь сеть сжатого воздуха; баллоны или сеть с горючим газом; баллоны или сеть с кислородом; вентиляцию; кассету для укладки на нее бухты проволоки; приспособление для механизации процесса; державку для закрепления металлизатора.

Установка МГИ-5 имеет программное управление с пуском и остановкой, что позволяет с высокой степенью механизации применять ее для нанесения покрытий напылением крупногабаритных деталей, труб, профильного проката в условиях серийного и массового производства.

Проволока диаметром 5-6 мм. Пламя смеси кислорода и пропан-бутана. Аппарат стационарного типа.» [37]



1-шестерня, 2-ролик нажимной, 3-ролик ведущий, 4-вал, 5 и 14-червяк, 6-штуцер, 7 и 15- колесо червячное, 8-крышка верхняя, 9-крючок, 10-винт регулировочный, 11-кран, 12- шайба специальная, 13-шайба регулировочная, 16-пробка, 17-турбинный привод, 18-кожух, 19-головка распылительная.

Рисунок 5 – Газопламенная проволочная горелка МГИ-4

«В последнее время при газотермическом напылении применяют такой вид расходных материалов, как гибкие шнуры SFECord, которые выпускает в России российско-французское предприятие “Техникорд” по know-how фирмы SNMI (Societe Nouvelle De Metallisation Industries).

Гибкие шнуры разработаны для использования в газопламенных металлизационных системах и представляют собой композиционный материал проволочного типа, состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью исчезающей при нанесении покрытия

(сублимирует в процессе нагрева при 400 °С без какого-либо отложения на подложку).» [16]

«Установка Техникорд ТОП-ЖЕТ/2. Оборудование СП "Техникорд" (Россия-Франция) обладает повышенной (до 10 кг/ч) производительностью распыления. Для большинства материалов КИМ составляет не менее 80 %. Струя распыла узкая (пятно составляет 10—15 мм в диаметре на расстоянии от 120 до 150 мм от среза сопла до подложки). Пористость покрытий в зависимости от марки материалов, режимов и дистанции напыления составляет от 3 до 10 %. Особое преимущество гибкие шнуры этого типа имеют при применении смесей.» [13]

Говоря о нанесении покрытий, необходимо отметить установки для нанесения покрытия методом электрохимического натирания. Данный метод является подвидом группы методов, относящихся к электрогальванике. Именно методы данного вида рассматриваются в данной магистерской диссертации.

За последние годы ремонтная практика проявляет большой интерес к электролитическому способу наращиванию металлического слоя.

Существует несколько методов проведения восстановительных работ по узлам и деталям транспортных средств.

Восстановление методом нанесения покрытия гальваническим методом подразумевает проведение работ следующими способами:

- нанесение покрытия на всю поверхность детали, подобный способ осуществляется ваннным способом, когда деталь полностью погружается в электролит и металл полностью покрывает поверхность детали. главным образом, подобным образом на детали наносится хромовое или никелевое защитное покрытие. При восстановлении геометрии поверхности данный метод применяется достаточно редко;

- нанесение покрытия ваннным способом на отдельные поверхности детали, в этом случае производится защита тех поверхностей, на которые не требуется осаждение металла, главным образом подобный метод нанесения электрогальванического покрытия применяется для хромирования валов и отверстий в корпусных деталях;

– нанесение покрытия вневанновым методом путем натирания, этот способ позволяет наносить покрытия на поверхности в тех местах, которые необходимо нарастить металлом в рамках восстановления. Вневанновый метод гарантирует нанесение покрытия на поверхность детали исключительно в местах, где это необходимо. Подходит для нанесения покрытия как методом хромирования, так и методом железнения. Подобным методом возможно производить восстановление корпусных деталей, таких как блоки цилиндров, картеры коробок передач и задних мостов.

Для проведения операций восстановления методом натирания применяются различные устройства. Промышленного применения многие из них не находят, ввиду пониженного спроса со стороны авторемонтных предприятий на проведение работ по восстановлению корпусных деталей. Но современная тенденция на рынке заставляет думать, что применение подобных устройств будет находить все более широкое применение.

Было обнаружено несколько промышленных образцов изделий, предназначенных для проведения операций по восстановлению поверхностного слоя деталей. Поскольку в рамках диссертационного исследования стоит задача по разработке технологии восстановления и проведения экспериментальных исследований по нанесению покрытия на поверхность детали методом натирания, рассмотрим некоторые образцы подобных устройств.

Одним из таких устройств будет являться устройство установки для проведения восстановления методом электрохимического натирания, разработанного НИИ Тяжмаш и представленная на рисунке 6.

Устройство для электролитического натирания предназначается для восстановления деталей гальваническим методом, что позволяет обойтись без ряда трудоемких и дорогостоящих операций. Сущность устройства состоит в следующем: устройство, выполненное в виде полый чашки, помещается в восстанавливаемое отверстие под подшипник, после чего в саму чашку закачивается электролит. Вращение чашки позволяет производить восстановление металла на поверхности детали из раствора гальваническим методом. Схематически устройство показано на рисунке 6.

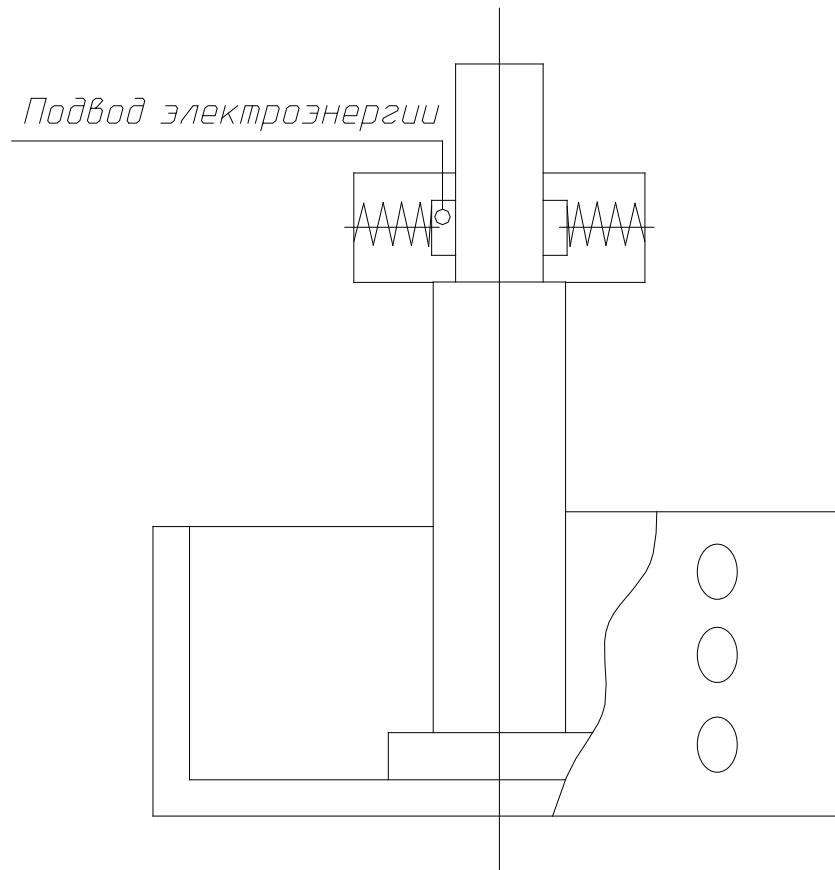
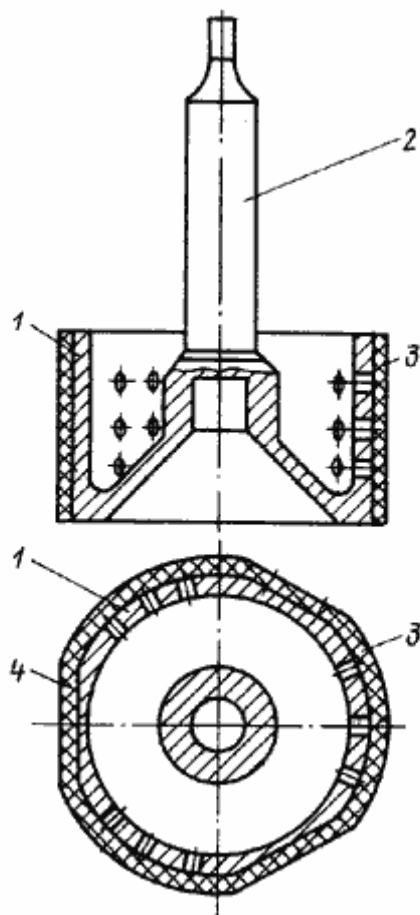


Рисунок 6 – Схема устройства для электролитического натирания

Представленное на рисунке 6 устройство представляет собой схему для проведения работ по натиранию. Принцип работы заключается в проведении натирания посредством пропитанного электролитом пористого материала, перемещаемого по восстанавливаемой поверхности. Подвод электричества производится к валу устройства. При проведении работ используется постоянный ток, полярность которого может меняться для различных типов покрытия.

Другое устройство, обнаруженное для проведения работ по восстановлению деталей явилось устройство для восстановления рабочих поверхностей по а.с. №2112671, представленное на рисунке 7.



1 – анод; 2 – хвостовик анода; 3 – облицовка из поролона; 4 - текстолитовые пластины

Рисунок 7 – Полый анод для электролитического натирания

«Анод выполнен полым, облицован поролоном, имеет по наружной поверхности три косых среза. При работе чаша анода заполняется электролитом; свободный проход электролита и обильное смачивание адсорбирующего материала (поролон) обеспечиваются за счет трех рядов отверстий в каждом секторе электрода. Плоские срезы на наружной поверхности обеспечивают прерывистость электролитического процесса при вращении анода. Хорошее и равномерное смачивание поролон по всей его высоте и окружности и уменьшение угла контакта электродов за счет срезов способствуют равномерному распределению силовых линий электрического

поля и образованию равномерного по толщине слоя покрытия поверхности отверстия восстанавливаемой детали.» [14], [38]

Устройство для электролитического нанесения покрытий натиранием по а.с.№2141415 представлено на рисунке 8. Устройство также предназначено для восстановления отверстий корпусных деталей, главным образом подшипниковых отверстий.

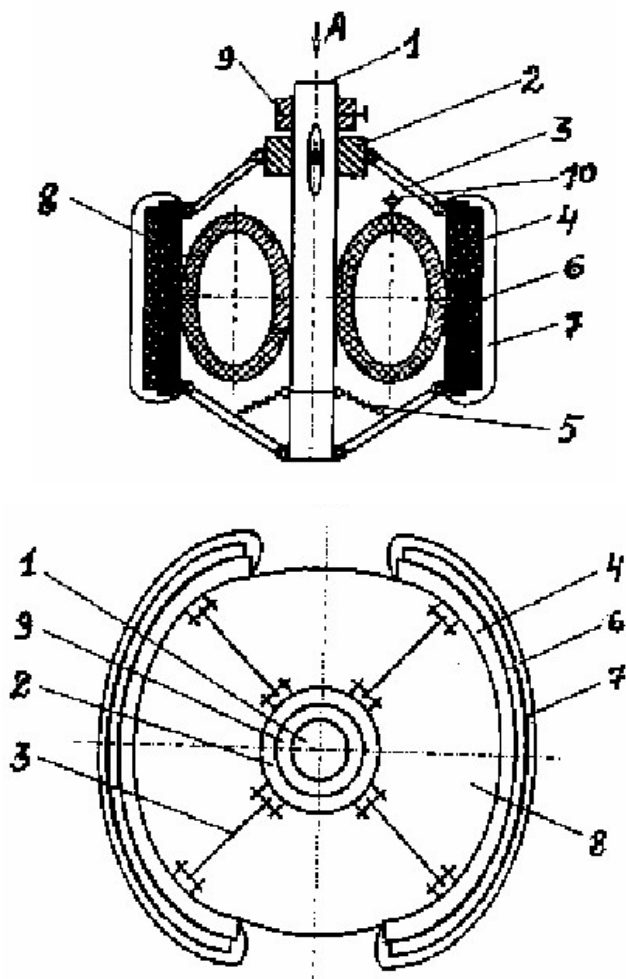


Рисунок 8 – Устройство для электролитического нанесения покрытий натиранием

«Устройство имеет вал 1, установленный с возможностью осевого перемещения, копир 2, фиксатор 9, позволяющий фиксировать положение копира 2, рычаги 3, которые шарнирно связаны с секторами 4, а также с нижним концом вала 1 и копиром 2. На секторах 4 закреплены анодные



пластины 6, покрытые тампонами 7. Нижние рычаги связаны установочными пружинами 5 с валом 1. На валу 1 установлена упругая пневмокамера 8, которая через обратный клапан 10 может соединяться с пневмосистемой с регулируемым давлением.» [15], [39]

Предлагаемое устройство для электролитического нанесения покрытий показано на рисунке 9 и работает следующим образом.

Поверхность устройства для проведения натирания оснащается пористым материалом, способным впитывать и удерживать электролит. К такому, например относится поролон высокой плотности. Само устройство помещается в патроне станка. Корпусная деталь размещается в ванне, в которой собирается стекающий электролит. Подача электролита из ванны в зону проведения натирания производится посредством насоса, который возможно выполнить из автономного перекачивающего насоса. Циркуляция электролита производится в течении всего цикла восстановления. Положительный полюс подводится к валу восстанавливаемого устройства. Отрицательная клемма подключается к ванной и корпусу восстанавливаемого агрегата. Восстановление производится методом нанесения металла методом электрохимического осаждения.

Задачей разработки нового объекта является упрощение конструкции, с целью специализации оборудования, повышение удобства в эксплуатации и снижение себестоимости изготовления в условиях АРП.

Технический результат достигается применением унифицированной конструкции, приводимой от вертикально-сверлильного станка.

Сущность предлагаемого устройства заключается в следующем.

Устройство, выполненное в виде полый чаши, закрепляется в патроне станка и помещается в отверстие для подшипника. Благодаря тому, что привод производится от станка, вся конструкция, располагается в ванне и непрерывно смачивается раствором электролита.

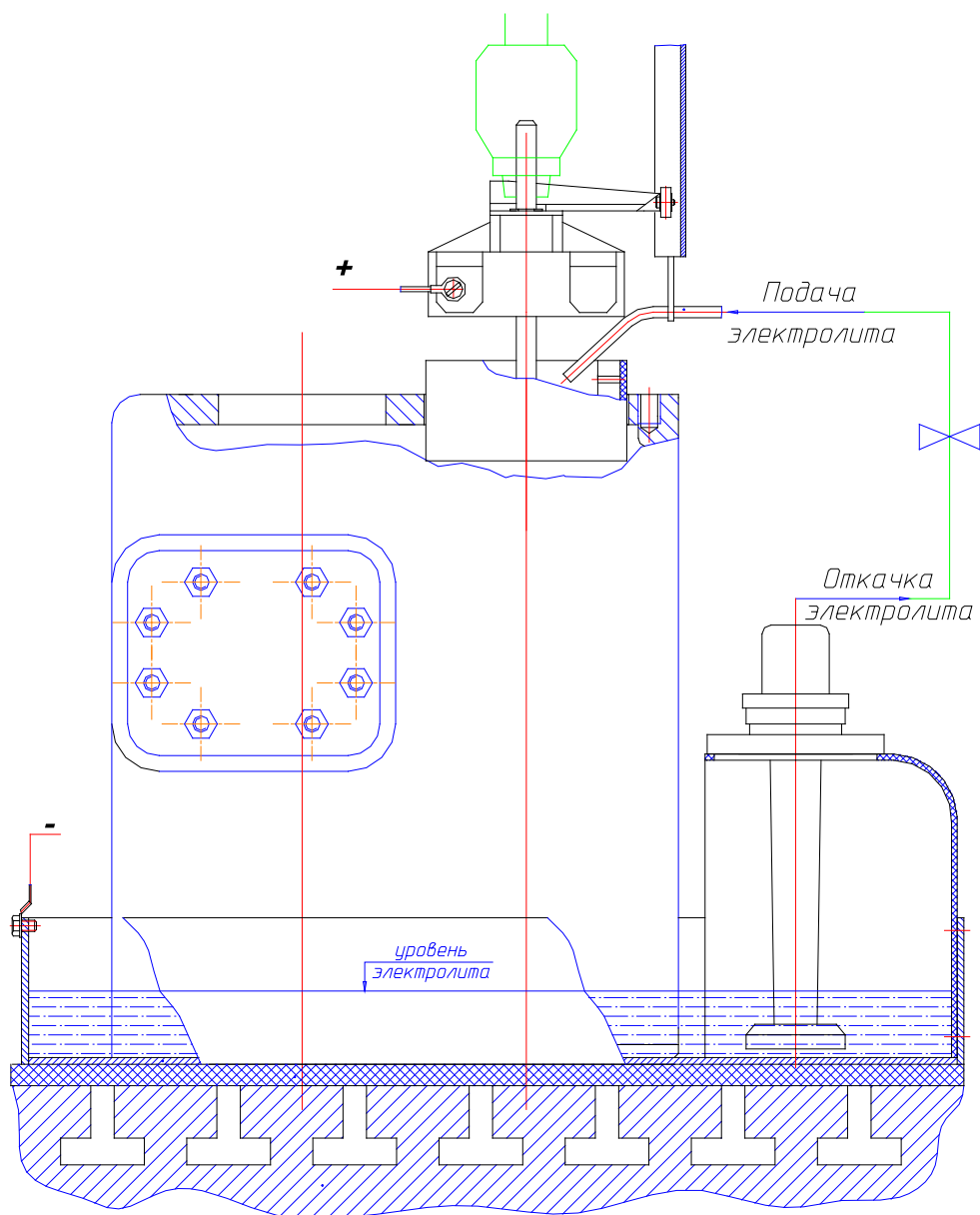


Рисунок 9 – Устройство для электролитического натирания

Предлагаемое в соответствии со схемой на рисунке 9 и в соответствии с описанием устройство будет использовано в качестве лабораторной установки. С его помощью будут выполняться операции по восстановлению деталей и проводиться лабораторные исследования, результаты которых будут отражены в следующей главе.

В первой главе диссертации рассматривались различные методики, касающиеся процесса восстановления изношенных деталей транспортных

средств. Были рассмотрены методы восстановления деталей напылением, наплавкой и электрохимические методы. Был выполнен сравнительный анализ методов, в ходе которого определены преимущества и недостатки каждого из них. Результатом анализа явилось выявление технологических проблем, характерных для метода восстановления электрохимическим напылением. Были выделены ключевые проблемы, решение которых было определено как практическая значимость от выполняемой работы. Проведен анализ режимов напыления для каждого из видов восстановления поверхностного слоя изношенных деталей. Определены наиболее щадящие температурные режимы, которые не вызывают изменения кристаллической структуры металла подложки.

Предложено решение для лабораторной установки, которая будет реализована в рамках проведения экспериментальных исследований магистерской диссертации.

## **Глава 2 Методика восстановления деталей методом электрохимического натирания**

### **2.1 Сущность процесса восстановления деталей натиранием**

Для продолжения работы по восстановлению поверхности корпусных деталей рассмотрим физическую сторону процесса осаждения металла при электрохимическом восстановлении. Понимание физики процесса позволит более ответственно подойти к вопросу формирования задач разработки технологии восстановления.

«При прохождении постоянного тока через электролит на анодах происходит растворение металла (переход его в электролит) и выделение кислорода, а на катоде (деталь) — отложение металла и выделение водорода. Аноды изготавливают обычно из такого же металла, какой наносится на деталь (растворимые аноды), или из свинца, графита (нерастворимые аноды). Электролит представляет собой раствор в дистиллированной воде соединений (чаще всего солей) осаждаемого металла. В электролит также вводят разные добавки (кислоты и др.), улучшающие процесс и качество наращенного слоя.

Электрохимический эквивалент выражает теоретическое количество металла в граммах, осаждаемого на катоде при прохождении тока в один ампер в течение 1 ч.» [18], [40]

Как любой технологический процесс, процесс восстановления деталей методом электролитического натирания можно разделить на три основных этапа. В порядке проведения определена следующая последовательность выполнения:

- подготовительный этап;
- технологический этап;
- заключительный этап.

«К подготовительным операциям относятся: механическая обработка (шлифование, полирование и т. д.) — проводится для устранения искажений геометрической формы у изношенных деталей, придания поверхности определенной чистоты и доведения размеров до требуемой величины с учетом припуска на толщину покрытия; предварительное обезжиривание растворителями; изоляция (закрытие) мест, не подлежащих покрытию, перхлорвиниловой пленкой, нанесение 2...3 слоев перхлорвинилового лака и т. п.; монтаж деталей в приспособлениях для завешивания в ванну. Подвеска должна обладать достаточной механической прочностью, обеспечивать надежный электрический контакт с деталью и иметь сечение, соответствующее величине тока. Следующей подготовительной операцией является обезжиривание.

Обезжиривание деталей может быть химическим, электрохимическим с применением ультразвука.

Химическое обезжиривание проводят путем протирания поверхности детали кашицей из венской извести (смесь окиси кальция и окиси магния) или отходами карбида кальция от ацетиленового генератора.

При электрохимическом обезжиривании деталь помещают в ванну с щелочным раствором, через который пропускают ток. Деталь является катодом, а пластины из малоуглеродистой стали — анодом. Благодаря выделению на поверхности детали пузырьков водорода процесс протекает более интенсивно, чем при химическом обезжиривании. Рекомендуется периодически переключать деталь на анод.» [17]

«Обезжиривание с применением ультразвука проводят в ультразвуковых моечных установках УЗВ-15М, УЗВ-17М, агрегате УЗА-16, используя растворы, указанные в таблице. После обезжиривания детали промывают в горячей воде и завешивают в ванну.

При подготовке деталей к железнению для удаления окисных пленок, протравливания поверхности детали и создания на ней пассивированных пленок после обезжиривания проводят анодную обработку детали в 30%-ном

растворе серной кислоты с добавкой 15 г/л сернокислого алюминия. Деталь служит анодом, а стальные или свинцовые пластины — катодом. Обработка длится 4...5 мин при комнатной температуре. Плотность тока 10...15 А/мм<sup>2</sup>.

Декапирование (травление) применяют для удаления окисных пленок с поверхности детали. Декапирование часто проводят в тех же ваннах, где происходит основной процесс покрытия. Для этого на 0,5...1 мин к детали подключают плюс источника тока, а к анодам минус.

После декапирования деталь выдерживают в ванне без тока в течение 0,5... 1 мин, при этом поверхность детали подвергается травлению электролитом.» [10], [19]

«Выбор вида тока для питания гальванических ванн. Для питания гальванических ванн применяют постоянный ток и ток переменной полярности — реверсивный постоянный ток (полярность меняется по определенной программе) или асимметричный переменный ток (ток в катодный полу период, то есть, когда деталь подключена на минус, протекает дольше, чем в анодный полупериод). Напряжение тока обычно 6... 18 В.

В качестве источников питания постоянного тока используют низковольтные генераторы АНД-500/250, АНД-1000/500, АНД-1500/ 750 (в числителе сила тока при напряжении 6 В, в знаменателе — при напряжении 12 В), селеновые выпрямители типа ВСМР, кремниевые выпрямители типа ВАКГ и др.

В качестве источника переменного тока обычно применяют понижающие трансформаторы.» [20], [41]

«Использование тока переменной полярности позволяет значительно (в 1.5...3 раза) увеличить плотность тока, а значит, и производительность процесса, улучшить структуру и механические свойства покрытий, проводить процесс электролиза при более низких температурах.

При использовании источников постоянного тока реверсирование осуществляется по заданной программе при помощи автоматов типа АРТ-62, АРТ-500 и др. Продолжительность основного катодного периода (минус на

детали) обычно принимается в 8... 10 раз больше продолжительности анодного периода (плюс на детали). Асимметричный переменный ток можно получить, включая на каждую фазу тока диоды или тиристоры с независимым регулированием амплитуды прямого и обратного импульсов.

После завешивания деталей в ванну силу тока в катодный полупериод устанавливают в 1,2... 1,4 раза больше, чем в анодный, и затем постепенно в течение 10 мин это соотношение доводят до 8...10.» [18]

«Достоинством хромового покрытия являются твердость, износостойкость, стойкость против коррозии и красивый внешний вид. В то же время процесс хромирования имеет низкий к. п.д. и является дорогостоящим.

Электролиты готовят из хромового ангидрида и серной кислоты  $H_2SO_4$ , растворяя их в дистиллированной воде. Процесс покрытия происходит с наиболее высоким КПД при соотношении  $CrO_3/H_2SO_4=i_{100}$ . При приготовлении холодного саморегулирующегося электролита, сначала растворяют половинное количество хромового ангидрида, затем понемногу вводят, перемешивая, углекислый кальций, сернокислый кобальт и последним остальную часть хромового ангидрида.

Напряжение тока 12... 18 В. Процесс хромирования проходит при нерастворимых анодах из чистого свинца либо сплава свинца с 5% сурьмы. Для облицовки ванн используют свинец, винипласт, эпоксидные смолы. Подогрев ванн осуществляется паром или различными электронагревателями. Отношение площади анодов к площади катодов устанавливают от 1:1 до 2:1.

Аноды по возможности должны копировать форму детали, обеспечивая равномерное распределение силовых линий по ее поверхности. Выступающие части детали прикрывают свинцовыми экранами, которые отвлекают на себя часть силовых линий и рассредоточивают их у краев детали.» [21]

«Из горячих электролитов наиболее распространен в ремонтной практике универсальный электролит, дающий твердые износостойкие покрытия. Так называемый саморегулирующийся горячий электролит имеет более высокий выход по току, обладает хорошей стабильностью в работе и дает покрытия хорошего качества, но очень агрессивен по отношению к оборудованию. Горячие электролиты имеют малый выход по току, малую скорость наращивания (до 0,10...0,15 мм/ч) и требуют устройства для подогрева. В связи с этим в последнее время все более широкое применение находят холодные электролиты, дающие выход по току до 35%, большую скорость наращивания (до 0,4...0,5 мм/ч), обладающие хорошей стабильностью в работе, хорошей рассеивающей способностью и малой агрессивностью.» [18]

«Покрытия из электролитического хрома обладают высокой микротвердостью. Однако хром обладает плохой смачивающей способностью по отношению к маслу, и при недостаточной смазке возможны заедания. Для устранения этого недостатка применяют пористое хромирование. На поверхность детали наносится гладкий блестящий слой хрома. В процессе отложения в покрытиях образуются микротрещины. Затем эту поверхность подвергают анодному травлению; к детали подключают плюс, а к свинцовым пластинам — минус. При этом хром сходит с покрытия неравномерно и главным образом с краев микротрещин, углубляя последние и образуя сеть каналов или точек. Время анодной обработки для получения пористости от 6 до 14 мин.» [22], [25]

«Железнение имеет ряд преимуществ перед другими процессами электролитического осаждения металлов, так как применяются дешевые и распространенные материалы, выход по току достигает 80.,90%, твердость покрытия — до 6500 МПа, а также возможно получение осадков толщиной до 1,2 мм.

Железнение может проводиться в горячих и холодных электролитах. Наиболее распространены для железнения хлористые электролиты, которые



приготавливают травлением стружек из малоуглеродистой стали в соляной кислоте. Например, для приготовления электролита из двуххлористого железа концентрации 200 г/л необходимо взять 56 г стальных стружек и 188 г соляной кислоты плотностью 1,20 (39,11%).» [18]

«В качестве анода используют пластины из малоуглеродистой стали. Отношение площади анодов к площади катодов принимается от 1 до 2. В процессе железнения стальные аноды растворяются и на их поверхности образуется шлам в виде темного слоя углерода, серы и других примесей. Для уменьшения загрязнения электролита шламом аноды рекомендуется помещать в чехлы из стеклянной ткани. При работе ванн рекомендуется фильтровать электролит.

После обезжиривания, анодной обработки и промывки в горячей воде детали завешивают в ванну, выдерживают 0,5...1 мин и начинают проводить электролиз. Начальная плотность тока составляет 10...25% номинальной. Через 15...20 мин плотность тока доводят до установленной. Напряжение тока 12...18 В.

Снижение температуры электролита при осталивании уменьшает его химическую агрессивность, что упрощает футеровку и корректировку ванн. Значительно упрощаются и удешевляются процессы местного, струйного и проточного железнения, улучшаются условия труда.

Недостатками процесса железнения являются коррозия оборудования, инструмента и высокие требования к подготовке поверхности восстанавливаемой детали и составу электролита.

Вневаннные процессы электролитического наращивания. Электролитическое осаждение металла можно также вести вневанными способами. Они позволяют восстанавливать отдельные изношенные участки поверхности на крупногабаритных деталях, повысить производительность процесса за счет циркуляции электролита и увеличения плотности тока до 300 А/дм<sup>2</sup>, улучшить качество покрытия.» [19], [22]

«На рисунке показана схема установки для струйного электролитического покрытия шеек вала. Насосом электролит из бака подается через насадку на шейку медленно вращающегося вала. Под валом расположена местная ванночка. Процесс предпочтительно проводить, используя холодные электролиты и асимметричный переменный ток.

Электролитическое покрытие (осаждение металла) в проточном электролите. При этом у покрываемой поверхности создается местная ванна, через которую циркулирует электролит. Расстояние между анодом и покрываемой поверхностью 10...30 мм. Этот способ целесообразно применять при покрытии внутренних поверхностей отверстий корпусов, цилиндров, труб и т. п.

Восстановление деталей электролитическим натиранием. Принципиальная схема установки изображена на рисунке. Деталь закрепляется и вращается в патроне токарного станка. С помощью насоса электролит подается внутрь анодной головки, которая прижимается к вращающейся детали. Электролит проходит через отверстия в анодной пластине и непрерывно смачивает тампон. Так как деталь служит катодом, а пластина анодом, то на поверхности детали откладывается слой металла. Смачиваемый электролитом тампон тормозит образование крупных кристаллов, удаляет шлак.

Местное (безванное) электролитическое наращивание. Сущность этого способа состоит в том, что на детали в нужном месте с помощью приспособления создают местную ванночку и проводят наращивание.

Местное железнение нашло широкое применение для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях.» [18]

«Отверстие растачивают для удаления следов износа и поверхностного слоя металла, обезжиривают венской известью или карбидным илом, промывают водой, устанавливают приспособление, проводят анодное травление в электролите (30 г/л серной кислоты и 15 г/л сернокислого алюминия) в течение 3...5 мин при плотности тока 5...8 А/дм<sup>2</sup> и вновь

промывают водой. После этого устанавливают анод из малоуглеродистой стали (диаметр анода должен быть равен 1/3 диаметра отверстия), заливают холодный или горячий электролит, включают ток и проводят процессы декапирования и железнения.» [23]

«После нанесения электролитических или химических покрытий все детали следует промыть горячей водой.

Детали, работающие в условиях динамических нагрузок, после хромирования рекомендуется подвергнуть термической обработке в течение 1...2 ч при температуре 150...200°C.

Термодиффузионный способ восстановления деталей из бронзы.

В ремонтных предприятиях нашел применение способ восстановления деталей из бронзы — термодиффузионное цинкование.

Для наращивания детали нагревают до температуры 650...700°C в смеси порошков, которая состоит из огнеупорной глины (100 частей), хлористого аммония (7 частей), цинка в порошке (25...30 частей).

При этом за счет диффузии цинка в поверхностные слои основного металла происходит увеличение объема (размеров) детали.

Технология процесса состоит в следующем: огнеупорную глину высушивают, размалывают и просеивают через сито (625 отверстий на 1 см<sup>2</sup>). Порошок прокаливают в течение 0.5...1 ч при температуре 500...600°C.

Порошок хлористого аммония также просеивается через такое же сито.

Цинковая пыль используется разных марок и сортов, например сорт «А» — техническая.

Детали перед укладкой обезжиривают и зачищают до металлического блеска.

Смесь тщательно перемешивают, насыпают на дно стального ящика слоем толщиной 15...20 мм и укладывают на нее в один слой детали, подлежащие восстановлению, так чтобы между деталями и стенками контейнера было расстояние не менее 10 мм. Затем детали засыпают смесью и укладывают следующие слои.» [18]

Технологический процесс термодиффузионного способа заключается в следующем. Контейнер с подготовленными деталями и пересыпкой из смеси герметизируется и устанавливается в муфельную печь. Температура предварительно нагретой муфельной печи должна составлять 250...270°С. После этого детали подвергаются выдержке в печи при постоянной температуре в течении 0,5 часа до достижения температурной стабилизации всего объёма контейнера. После температурной стабилизации производится нагрев контейнера с деталями до температуры 650...700°С. Время выдержки контейнера зависит от требуемой величины формирования слоя. Как правило, формирование слоя 1 мм требует выдержки в течении 3,5 часов.

## **2.2 Исследование процесса проведения восстановления детали методом электрохимического натирания**

Исследования проводятся с целью экспериментального подтверждения результатов теоретических изысканий. Кроме того, в результате исследований находят свое практическое подтверждение гипотезы, выдвигаемые в ходе поиска. Нам необходимо экспериментальное подтверждение режимов проведения восстановления методом электрохимического натирания, что связано с проведением натуральных экспериментов. Окончательная цель, декларируемая в данном разделе: экспериментальное подтверждение режимов проведения работ по восстановлению методом электролитического натирания и включение этих результатов в разработку технологии проведения работ.

В ходе проведения эксперимента необходимо влияние на результат следующих параметров:

- влияние силы тока на качество нанесения слоя;
- изменение направления натирания в продольном и поперечном направлениях;
- изменение толщины натираемого слоя.

Каждый из видов исследования требует проведение испытаний, с составлением математических моделей режимов, чтобы подтвердить результаты проведенных испытаний и выявить зависимость.

Проведем анализ влияния величины силы тока на время формирования слоя металла. Испытания проводятся на экспериментальной установке проведения электрохимического натирания. Режим проведения натирания одинаков, составляет 30 об/мин. Натирание производится в течении 10 мин на контрольном образце, который замеряется до и после проведения процедуры. Толщина нанесенного слоя контролируется микрометрическим нутромером с точностью измерения 0,001 мм. Результаты проведенного эксперимента в виде обработанных данных математической модели приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты влияния режимов натирания (по силе тока) для составления математической модели

$X_{0i}$	$X_{1i}$	$X_{2i}$	$X_{1i}$	$X_{2i}$	$X_{1i}X_{2i}$ $i$	$X_{0i}Y_i$	$X_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X'_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X_1X_2$ $Y_i$
1	1	1	1/3	1/3	1	0,92	0,92	0,92	0,307	0,307	0,92
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0,893	0,893	-0,893	0,297	0,298	-0,89
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0,255	-0,255	0,255	0,085	0,085	-0,25
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0,203	-0,203	-0,203	0,068	0,068	0,203
1	0	0	2/3	-2/3	0	0,717	0	0	-0,478	-0,478	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0,9	0,9	0	0,3	-0,599	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0,277	-0,227	0	0,075	-0,151	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0,737	0	0,737	-0,491	0,245	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0,673	0	-0,673	-0,448	0,224	0
9	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
9	6	6	2	2	4	-	-	-	-	-	-

Для оценивания влияния силы тока получена математическая модель, выраженная формулой (1):

$$Y = 0,70976 + 0,338X_1 + 0,0238X_2 - 0,14265 \cdot X_{12} - 0,0115 \cdot X_{22} - 0,00625X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

Воспроизводимость эксперимента по Кохрену проверяется расчетом критерия Кохрена. Данные производимого расчета приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для проверки воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена

X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> {y}
1	1	1	0,91	0,94	0,91	0,92	0,0003
1	1	-1	0,89	0,9	0,89	0,893	0,000034
1	-1	1	0,26	0,255	0,25	0,255	0,000023
1	-1	-1	0,22	0,21	0,18	0,203	0,00043
1	0	0	0,71	0,72	0,72	0,717	0,000036
1	1	0	0,89	0,9	0,91	0,9	0,0001
1	-1	0	0,23	0,240	0,21	0,227	0,00023
1	0	1	0,73	0,75	0,78	0,737	0,000109
1	0	-1	0,68	0,66	0,68	0,637	0,000135
Σ =							0,001393

Проверка однородности данных эксперимента проверяется при коэффициенте воспроизводимости  $\alpha = 0,05$ . Для каждой строки данных производится расчет среднеарифметической построчечной дисперсии для функции отклика  $y_i$ ;

«Вычисляем опытное значение критерия Кохрена, равное отношению максимальной эмпирической дисперсии к сумме дисперсии по всем строчкам, для нашего случая  $G_{\text{оп}} = 0,308$ ;

Теоретическое значение критерия Кохрена  $G_{\text{теор}} = 0,47$ ;» [32]

Статистическая оценка регрессии проверяется по критерию Стьюдента, при общей дисперсии эксперимента  $S\{y\} = 0,0126$ .

Условием значимости коэффициента будет являться:

$\delta > B_i$  – коэффициент незначим

$\delta < B_i$  – коэффициент значим

Расчет сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Статистическая оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$B_j \pm \delta$	
$B_0$	9	$0,0126/3 = 0,0042$	$2,06 \cdot 0,0042$	$0,7097 \pm 0,0086$	+
$B_1$	6	$0,0126/2,4 = 0,051$	$2,06 \cdot 0,0051$	$0,338 \pm 0,0105$	+
$B_2$	6	$0,0126/2,4 = 0,051$	$2,06 \cdot 0,0051$	$0,0238 \pm 0,0105$	+
$B_{11}$	2	$0,0126/1,4 = 0,089$	$2,06 \cdot 0,089$	$0,1426 \pm 0,0183$	+
$B_{22}$	2	$0,0126/1,4 = 0,089$	$2,06 \cdot 0,089$	$0,0012 \pm 0,0183$	-
$B_{12}$	4	$0,0126/2 = 0,0063$	$2,06 \cdot 0,0063$	$0,00625 \pm 0,0129$	-

Результатом статистической оценки коэффициента Стьюдента будет являться математическая модель, выраженная формулой:

$$Y = 0,70976 + 0,38X_1 + 0,0238X_2 + 0,14265X_{12} \quad (2)$$

Проверка математической модели, выраженной уравнением (2), на адекватность проводится по критерию Фишера. Результат проведения проверки приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Проверка математической модели на адекватность по критерию Фишера

$X_1$	$X_2$	$B_0X_0$	$B_1X_1$	$B_2X_2$	$B_{11}X_1$	$Y$	$Y_i$	$\Delta$	$\Delta^2$
1	1	0,709	0,338	0,0238	-0,1465	0,928	0,920	0,008	0,000064
1	-1	0,709	0,338	-0,0238	-0,1465	0,881	0,893	0,012	0,000144
-1	1	0,709	-0,338	0,0238	-0,1465	0,253	0,255	0,002	0,000004
-1	-1	0,709	-0,338	-0,0238	-0,1465	0,205	0,203	0,002	0,000004
0	0	0,709	0	0	0	0,709	0,717	0,008	0,000064
1	0	0,709	0,338	0	-0,1465	0,905	0,900	0,005	0,000025
-1	0	0,709	-0,338	0	-0,1465	0,229	0,227	0,002	0,000004
0	1	0,709	0	0,0238	0	0,734	0,737	0,003	0,000009
0	-1	0,709	0	-0,0238	0	0,685	0,673	0,012	0,000144

Определим остаточную дисперсию как сумму среднеквадратичной дисперсии,  $\Sigma = 0,000462$

$$S_2 = 0,0001155$$

Общая опытная дисперсия равна 0,0001588

Критерий Фишера находится как отношение этих двух дисперсий

$$F = 0,7273$$

$$F_{\text{теор}} = 2,6$$

На основании выполненного расчета можно сделать вывод об адекватности полученной математической модели.



Проведем анализ влияния изменения направления натирания в продольном и поперечном направлениях на изменение шероховатости нанесенного слоя.

Исследование проводится на контрольных образцах на стабильном режиме, составляющем 30 об/мин. Натирание производится в течении 10 мин на контрольном образце, который замеряется до и после проведения процедуры. Осцилляция в продольном направлении составляет 20...60 циклов/мин. Замер шероховатости производится на профилометре, в качестве лабораторной базы используется Институт прогрессивных технологий ТГУ.

Полученные в результате эксперимента данные по шероховатости поверхности вносятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента по исследованию влияния режимов натирания на шероховатость поверхности

$X_{0i}$	$X_{1i}$	$X_{2i}$	$X_{1i}$	$X_{2i}$	$X_{1i}X_{2i}$	$X_{0i}Y_i$	$X_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X'_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X_1X_2$ $Y_i$
1	1	1	1/3	1/3	1	0,35	0,35	0,35	0,117	0,117	0,35
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0,36	0,36	-0,36	0,12	0,12	-0,36
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0,31	-0,31	0,31	0,103	0,103	-0,31
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0,37	-0,37	-0,37	0,123	0,123	0,37
1	0	0	2/3	-2/3	0	0,28	0	0	-0,187	-0,187	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0,39	0,39	0	0,13	-0,26	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0,33	-0,33	0	0,11	-0,22	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0,28	0	0,28	-0,187	0,093	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0,29	0	-0,29	-0,193	0,096	0
9	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
9	6	6	2	2	4	-	-	-	-	-	-

На основании данных в таблице 5, получаем математическую модель влияния режимов натирания на шероховатость поверхности. Модель выражается формулой (3):

$$Y = 0,28777 + 0,015 \cdot X_1 - 0,0133X_2 + 0,06834 \cdot X_{12} + 0,0067 \cdot X_{22} + 0,0125 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (3)$$

Воспроизводимость эксперимента по Кохрену проверяется расчетом критерия Кохрена. Данные производимого расчета приводятся в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные для проверки воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена

X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> {y}
1	1	1	0,32	0,4	0,34	0,35	0,00175
1	1	-1	0,39	0,37	0,32	0,36	0,0013
1	-1	1	0,31	0,3	0,33	0,31	0,00025
1	-1	-1	0,37	0,37	0,37	0,37	0
1	0	0	0,25	0,31	0,29	0,28	0,00095
1	1	0	0,38	0,36	0,42	0,39	0,00095
1	-1	0	0,28	0,41	0,29	0,33	0,00525
1	0	1	0,31	0,23	0,29	0,28	0,00215
1	0	-1	0,23	0,32	0,32	0,29	0,0027
Σ=							0,0152

Проверка однородности данных эксперимента проверяется при коэффициенте воспроизводимости  $\alpha = 0,05$ . Для каждой строки данных производится расчет среднеарифметической построчечной дисперсии для функции отклика  $y_i$ ;

Статистическая оценка регрессии проверяется по критерию Стьюдента, при общей дисперсии эксперимента  $S\{y\} = 0,0126$ .

Условием значимости коэффициента будет являться:

$\delta > B_i$  – коэффициент незначим

$\delta < B_i$  – коэффициент значим

Расчет сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Статистическая оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

B	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$B_j \pm \delta$
$B_0$	9	$0,041/3 = 0,0136$	$2,06 \cdot 0,0136$	$0,28777 \pm 0,028$
$B_1$	6	$0,041/2,4 = 0,0167$	$2,06 \cdot 0,0167$	$0,015 \pm 0,034$
$B_2$	6	$0,041/2,4 = 0,0167$	$2,06 \cdot 0,0167$	$0,0133 \pm 0,034$
$B_{11}$	2	$0,041/1,4 = 0,029$	$2,06 \cdot 0,029$	$0,06834 \pm 0,059$
$B_{22}$	2	$0,041/1,4 = 0,029$	$2,06 \cdot 0,029$	$0,0067 \pm 0,059$
$B_{12}$	4	$0,041/2 = 0,0205$	$2,06 \cdot 0,0205$	$0,0125 \pm 0,042$

Результатом статистической оценки коэффициента Стьюдента будет являться математическая модель, выраженная формулой:

$$Y = 0,28777 + 0,06834X_1^2 \quad (4)$$

Проверка математической модели, выраженной уравнением (4), на адекватность проводится по критерию Фишера. Результат проведения проверки приводится в таблице 8.

Таблица 8 – Проверка математической модели на адекватность по критерию Фишера

$X_1$	$X_2$	$B_0X_0$	$B_1X_1^2$	$Y$	$Y_i$	$\Delta$	$\Delta^2$
1	1	0,2877	0,0683	0,3561	0,35	0,0061	0,000037
1	-1	0,2877	0,0683	0,3561	0,36	0,0039	0,000015
-1	1	0,2877	0,0683	0,3561	0,31	0,0561	0,0031
-1	-1	0,2877	0,0683	0,3561	0,37	0,0138	0,000019
0	0	0,2877	0	0,2877	0,28	0,0077	0,000066
1	0	0,2877	0,0683	0,3561	0,39	0,033	0,0010
-1	0	0,2877	0,0683	0,3561	0,33	0,026	0,0006
0	1	0,2877	0	0,2877	0,28	0,0077	0,000066
0	-1	0,2877	0	0,2877	0,29	0,0022	0,000005

Остаточная дисперсия:

$$S^2\{y\}_{\text{ост}} = 0,0009816$$

Дисперсия эксперимента:

$$S^2\{y\}_{\text{общ}} = 0,0017$$

Опытное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{оп}} = 0,57 < F_{\text{теор}} = 2,6$$

На основании выполненного расчета можно сделать вывод об адекватности полученной математической модели.

Проведем анализ влияния толщины нанесенного слоя на твердость пленки.

Исследование проводится на контрольных образцах на стабильном режиме, составляющем 30 об/мин. Натирание производится в течении различного времени от 10 до 45 минут на контрольном образце, твердость слоя которого замеряется до и после проведения процедуры. Замер твердости производится на твердомером по шкале Роквелла. В качестве лабораторной базы используется Институт прогрессивных технологий ТГУ.

Полученные в результате эксперимента данные по шероховатости поверхности вносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты эксперимента по исследованию влияния режимов натирания на твердость поверхности

X <sub>0i</sub>	X <sub>1i</sub>	X <sub>2i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>1i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>2i</sub>	X <sub>1i</sub> X <sub>2i</sub>	X <sub>0i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1i</sub> X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>
1	1	1	0,33333	0,33333	1	4,11	4,11	4,11	1,37	1,37	4,11
1	1	-1	0,33333	0,33333	-1	8,89	8,89	-8,89	2,96333	2,96333	-8,89
1	-1	1	0,33333	0,33333	-1	8,79	-8,79	8,79	2,93	2,93	-8,79
1	-1	-1	0,33333	0,33333	1	5,6	-5,6	-5,6	1,86666	1,86666	5,6
1	0	0	-0,66666	-0,66666	0	6,23	0	0	-4,15329	-4,15329	0
1	1	0	0,33333	-0,66666	0	7,93	7,93	0	2,64333	-5,28661	0
1	-1	0	0,33333	-0,66666	0	8,69	-8,69	0	2,89666	-5,79328	0
1	0	1	-0,66666	0,33333	0	5,66	0	5,66	-3,7733	1,88666	0
1	0	-1	-0,66666	0,33333	0	7,23	0	-7,23	-4,81995	2,41	0
9	0	0	1,8E-05	1,8E-05	0	63,13	-2,15	-3,16	1,92345	-1,80653	-7,97
9	6	6	2	2	4	-	-	-	-	-	-
B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>12</sub>	-	-	-	-	-	-
6,97547	-0,35833	-0,52667	0,96172	-0,90326	-1,9925	-	-	-	-	-	-

Математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 6,97547 - 0,35833X_1 - 0,5267X_2 + 0,96172X_1^2 - 0,9033X_2^2 - 1,9925X_1X_2 \quad (5)$$

Воспроизводимость эксперимента по Кохрену проверяется расчетом критерия Кохрена. Данные производимого расчета приводятся в таблице 10.

Таблица 10 – Исходные данные для проверки воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена

X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> {y}	
1	1	1	2,8	2,53	7	4,11	5,43	
1	1	-1	7,83	10,4	8,43	8,89	1,707	
1	-1	1	9,07	7,3	9,99	8,79	1,87	
1	-1	-1	6,07	6,17	4,57	5,6	0,8	
1	0	0	3,95	8,04	6,69	6,23	4,34	
1	1	0	6,84	13,88	3,09	7,93	30	
1	-1	0	9,08	9,53	7,45	8,69	1,2	
1	0	1	2,56	7,41	7,01	5,66	7,24	
1	0	-1	10,69	2,39	8,59	7,23	18,56	
$\Sigma = 71,13$								

Проверка однородности данных эксперимента проверяется при коэффициенте воспроизводимости  $\alpha = 0,05$ . Для каждой строки данных производится расчет среднеарифметической построчечной дисперсии для функции отклика  $y_i$ ;

Статистическая оценка регрессии проверяется по критерию Стьюдента, при общей дисперсии эксперимента  $S\{y\} = 0,0126$ .

Расчет сведен в таблицу 11.

Таблица 11 – Статистическая оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

B	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$B_j \pm \delta$
B <sub>0</sub>	9	$2,81/3 = 0,936$	$2,06 \cdot 0,936$	$6,97 \pm 1,92$
B <sub>1</sub>	6	$2,81/2,4 = 1,146$	$2,06 \cdot 1,146$	$0,3583 \pm 2,36$
B <sub>2</sub>	6	$2,81/2,4 = 1,146$	$2,06 \cdot 1,146$	$0,5267 \pm 2,36$
B <sub>11</sub>	2	$2,81/1,4 = 1,99$	$2,06 \cdot 1,99$	$0,96172 \pm 4,09$
B <sub>22</sub>	2	$2,81/1,4 = 1,99$	$2,06 \cdot 1,99$	$0,9033 \pm 4,09$
B <sub>12</sub>	4	$2,81/2 = 1,41$	$2,06 \cdot 1,41$	$1,99 \pm 2,9$

Результатом статистической оценки коэффициента Стьюдента будет являться математическая модель, выраженная формулой:

$$Y = 6,7547X_1X_2$$

Проверка математической модели, выраженной уравнением (4), на адекватность проводится по критерию Фишера. Результат проведения проверки приводится в таблице 12.

Таблица 12 – Проверка математической модели на адекватность по критерию Фишера

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> X <sub>0</sub>	Y	Y <sub>i</sub>	Δ	Δ <sup>2</sup>
1	1	6,97547	6,97547	4,11	2,86	8,18
1	-1	6,97547	6,97547	8,89	1,9	3,61
-1	1	6,97547	6,97547	8,79	1,8	3,24
-1	-1	6,97547	6,97547	5,6	1,37	1,88
0	0	6,97547	6,97547	6,23	0,74	0,54
1	0	6,97547	6,97547	7,93	0,95	0,9
-1	0	6,97547	6,97547	8,69	1,71	2,92
0	1	6,97547	6,97547	5,66	1,315	1,73
0	-1	6,97547	6,97547	7,23	0,25	0,0625

Остаточная дисперсия:

$$S^2\{y\}_{\text{ост}} = 4,61$$

Дисперсия эксперимента:

$$S^2\{y\}_{\text{общ}} = 7,9$$

Опытное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{оп}} = 0,58 < F_{\text{теор}} = 2,6$$

На основании выполненного расчета можно сделать вывод об адекватности полученной математической модели.

### **2.3 Технологический процесс восстановления деталей методом электрохимического натирания**

В рамках комплекса практических задач, полученных на магистерскую диссертацию, производится разработка установки для проведения восстановления рабочих поверхностей под коренные подшипники картеров коробок передач грузовых автомобилей. Схема, по которой реализуются эти задачи, приводится на рисунке 10.

Установка представляет собой устройство, оснащенное полым анодом (элемент, на который подается положительный заряд от источника постоянного тока). Анод выполнен из токопроводящего материала и имеет перфорацию стенок для свободного прохождения электролита. Наружняя облицовка анода выполнена из плотного поролона, толщиной 3 мм. Наружняя поверхность анода имеет три косых среза. Плоские срезы на поверхности анода сделаны для обеспечения прерывистости технологического процесса натирания.

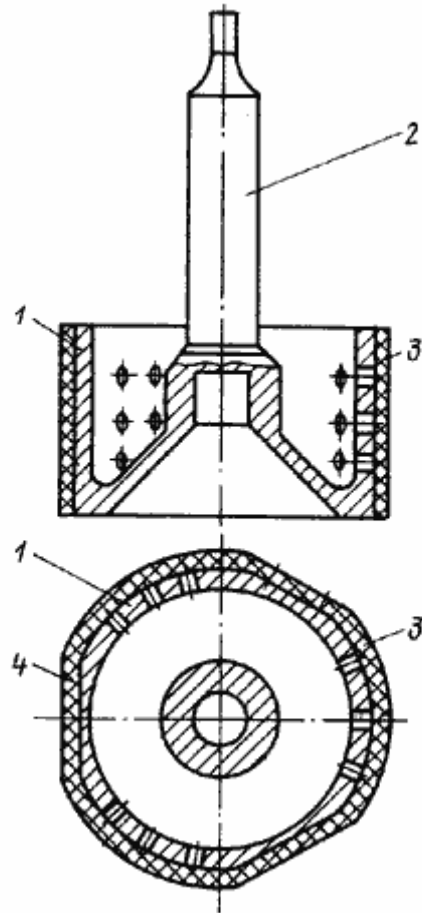
При работе полый анод заполняется электродом, а его свободное протекание через отверстия обеспечивает равномерное смачивание поверхности анода, а значит и равномерное натирание слоя материала.

Конструкция полого анода представлена на рисунке 10, конструкция идентична описанию к авторскому свидетельству 2112756. Описание конструкции приводилось ранее в работе.

В ходе проведения практических экспериментов в рамках диссертационного исследования, на основе конструкции приспособления, разработана собственная конструкция, особенностью которой является максимальная унификация к узлам ремонтируемого автомобиля, а также



применение токосъемного устройства, выполненного на основе щеточного узла генератора ГАЗ.



1 – анод; 2 – хвостовик анода; 3 – облицовка из поролона; 4 - текстолитовые пластины

Рисунок 10 – Анод устройства для проведения операций восстановления отверстий картера методом электролитического натирания

Также были выявлены дефекты, наиболее характерные для показаний к проведению работ. Согласно проведенному практическому анализу, наиболее характерными неисправностями, возникающими при проведении ремонтных работ по корпусным деталям, и в частности по подшипниковым отверстиям.

– Риски на посадочных поверхностях. Вызывается неверной посадкой подшипника в отверстие или проворачиванием наружной обоймы при заклинивании.

– Старение отверстия. Вызывается окислением металла, что приводит к разрушению поверхности.

Все виды неисправностей устраняются вышеперечисленными методами восстановления.

На специализированном стенде, разработанном в рамках проведения экспериментальных изысканий в части определения режимов натирания, предполагается проведение восстановления геометрии посадочного отверстия под подшипники в корпусных деталях методом электрохимического натирания. Электролит, используемый при натирании представляет собой кислотный раствор железа, осаждаемого на поверхности металла при пропускании электрического тока. Предполагается применение устройства для навивки, следующей конструкции (рисунок 11).

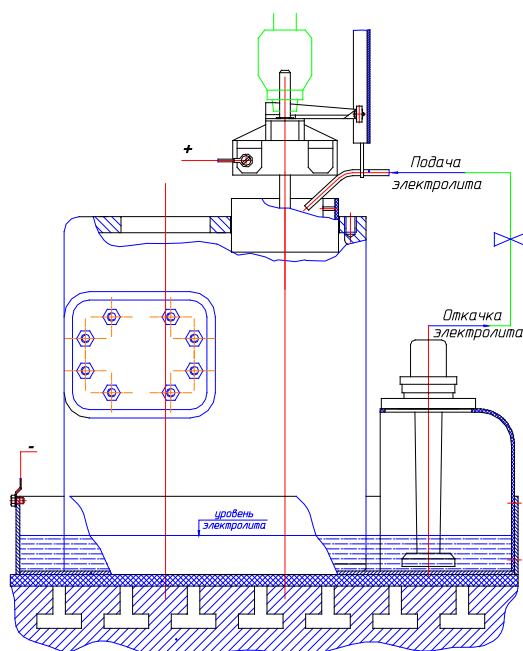


Рисунок 11 – Экспериментальная установка для электролитического натирания

При восстановлении отверстий может быть использован вертикально-сверлильный или какой другой станок, у которого шпиндель крутится со скоростью 22–28 об/мин, а в качестве источника тока применен любой выпрямитель или генератор постоянного тока напряжением не ниже 30 В. В случае применения предполагается применение двух соединенных параллельно аккумуляторов по 24 В. Анод изготавливают из стального круга. Его диаметр после обработки на 3–4 мм меньше диаметра восстанавливаемого отверстия.

Технологический процесс восстановления изношенных отверстий гальваническим электронатирированием состоит из следующих операций: мойки деталей и зачистки поверхности отверстий шлифовальной лентой, обезжиривания отверстий 50%-ным раствором едкого натра, травления поверхности отверстия 20%-ным раствором соляной кислоты, декапирования, гальванического натирания, обезжиривания ацетоном и промывки в горячей и холодной воде.

Для натирания чугунных деталей применяют электролит следующего состава: сернокислый цинк 600 г/л, борная кислота 30 г/л. Для натирания деталей из алюминиевых сплавов электролит составляют из сернокислого цинка (600 г/л) и сернокислого алюминия (30 г/л). Вот режимы электронатирания деталей: температура электролита (°С) 18–23, кислотность электролита (рН) 3,5–4,5, плотность тока (А/дм<sup>2</sup>) 180–220, напряжение (В) 48. При этом режиме на поверхности отверстия отлагается слой металла толщиной: за 1–2 мин. 0,1–0,15 мм, за 2–3 мин. 0,15–0,20 мм, за 3–4 мин. до 0,3 мм. После восстановления отверстия гальваническим натиранием не требуется никаких дополнительных механических операций для обработки лишнего слоя, так как при запрессовке подшипника лишний металл снимается его обоймой. В заключение для сравнения добавим, чтобы восстановить деталь с изношенным отверстием методом постановки втулки, надо затратить в 6...8 раз больше времени, чем способом электронатирания.

Таблица 13 – Технологическая карта на проведение процесса восстановления корпусной детали методом электрохимического натирания

Наименование операции, перехода	Оборудование	Трудоемкость	Примечание
<b>1 Подготовка детали</b>			
1.1 Произвести очистку поверхности	Установка для мойки деталей	5,0	-
1.2 Произвести обезжиривание поверхности детали	Верстак, ванна	2,0	Использовать 50% раствор едкого натра
1.3 Промыть деталь водой	Установка для мойки деталей	2,5	В соответствии с предполагаемым размером детали
<b>2 Натирание</b>			
2.1 Поместить деталь в ванну	Устройство для электролитического натирания	0,1	-
2.2 Заправить электролит	Ванна электролита	0,3	Температура электролита (°C) 18–23, кислотность электролита (pH) 3,5–4,5
2.3 Завести анод и включить двигатель	Устройство для электролитического натирания	0,5	Присоединить к детали «+», к аноду «-»
2.4 Изменить полярность и произвести натирание	Устройство для электролитического натирания	1,0	До необходимого размера
2.5. Вывести анод	Устройство для электролитического натирания	0,1	-
2.5. Повторить при необходимости для других посадочных отверстий.	Устройство для электролитического натирания	10,0	В соответствии с пп. 2.3-2.5
<b>3 Извлечь деталь</b>			
3.1 Извлечь деталь из ванны	-	0,1	
3.2 Произвести промывку детали	Установка для мойки деталей	2,5	В соответствии с предполагаемым размером детали

Во второй главе был произведен анализ практических мероприятий, необходимых для последовательной реализации технологического процесса восстановления корпусных деталей транспортного средства. Произведен расчет сходимости практического эксперимента, на основании полученных

результатов сформированы математические модели, описывающие влияние различных параметров натирания на результаты работы.

В ходе проведения эксперимента было произведено выявление влияния на результат следующих параметров:

- влияние силы тока на качество нанесения слоя;
- изменение направления натирания в продольном и поперечном направлениях;
- изменение толщины натираемого слоя.

Каждый из видов исследования потребовал проведения испытаний, с составлением математических моделей режимов, чтобы подтвердить результаты проведенных испытаний и выявить зависимость.

Выполнена практическая реализация технологического процесса, реализованная как описание технологии проведения работ по восстановлению деталей. Приводятся результаты экспериментальных работ по восстановлению изношенных деталей. Результат представлен в виде технологической карты и комплекса технической документации на установку для проведения работ, связанных с восстановлением поверхности подшипниковых отверстий.

## **Глава 3 Обоснование эффективности восстановления деталей методом электрохимического натирания**

### **3.1 Расчет экономической эффективности восстановления детали методом электрохимического натирания**

Текущая экономическая обстановка заставляет не просто искать пути внедрения новых технологических процессов и способов повышения эффективности производства, но и производить комплексное оценивание этих решений. Велика вероятность того, что принимаемые прогрессивные технические решения окажутся не эффективными именно с точки зрения экономики и результат от их внедрения будет нивелирован финансовыми или трудовыми потерями. Обоснование эффективности внедрения различных решений является важной составляющей любого НИР и НИОКР, когда принимается наиболее оптимальное решение.

Таким образом, целью является обоснование экономической эффективности произведенных затрат. Однако, как правило, в процессе экономического обоснования проектируемых мероприятий рассчитываются следующие показатели:

- снижение трудоемкости;
- снижение непроизводительных потерь рабочего времени;
- условия высвобождения численности рабочих;
- сокращение численности рабочих;
- рост производительности труда;
- рост объема производства;
- снижение себестоимости услуг (продукции);
- экономия условно-годовая от внедрения мероприятий;
- экономический эффект от внедрения мероприятий;
- срок окупаемости дополнительных капитальных затрат.

Следует отметить, что основными дефектами являются:

- риски на посадочных поверхностях, вызывается неверной посадкой подшипника в отверстие или проворачиванием наружной обоймы при заклинивании;

- старение отверстия, вызывается окислением металла, что приводит к разрушению поверхности;

Задачи обоснования экономической эффективности проекта:

- определить исходные данные проектирования;
- сформировать организационную структуру управления проектом;
- определить стоимость разработки и внедрения проекта;
- рассчитать эффект от использования оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей;

- рассчитать показатели экономической эффективности: коэффициент окупаемости затрат на внедрение проектных мероприятий, срок окупаемости проекта;

- внести полученные результаты обоснования экономической эффективности проекта в итоговую таблицу и сделать выводы по разделу.

Для проведения расчета экономической эффективности необходимо определить параметры и характеристики проектных предложений, которые вносятся в рамках предлагаемых решений. Все решения, которые применяются для проектируемого технологического процесса, были приняты в рамках проведения диссертационного исследования по проектированию технологического процесса восстановления деталей методом электрохимического натирания.

Характеристика технических изменений, вносимых разработкой и ее влияние на экономические и качественные показатели представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Краткая характеристика проектных предложений

Характеристика технических (технологических) изменений, предлагаемых в проекте	Влияние технических изменений на технологический процесс		
	Экономические показатели		Качественные параметры
	В сфере производства	В сфере эксплуатации	
Разработка технологического процесса восстановления детали методом электрохимического натирания	1.Снижение трудовых затрат 2.Экономичность	1. Долговечность и высокая работоспособность деталей машин при наименьших затратах на их восстановление	1.Повышение твердости, экономическая и экологическая эффективность. 2.Повышение технического уровня

Как показывают данные таблицы, проектные предложения положительным образом сказываются на экономических и качественных параметрах. Разработка оборудования технологического процесса восстановления рабочих поверхностей коленчатого вала, обеспечивает наибольшую долговечность и высокую работоспособность деталей машин при наименьших затратах на их восстановление. Чтобы определить экономический эффект необходимо сравнить предполагаемые экономические результаты от проекта с соответствующими затратами, поэтому в следующем параграфе будет рассчитана себестоимость разработки приложения.

Часть затрат, которые несет предприятие при проектировании технологического процесса, относятся к затратам на НИОКР. Для оценивания этих затрат, необходимо составить перечень работ и определить трудоемкость их исполнения.

Построим матрицу работ с указанием содержания работ и продолжительностью работ в часах (таблица 15).



Таблица 15 – Содержание и продолжительность разработки проекта

Содержание работ	Продолжительность работ, чел-час
Обзор существующих систем визуализации информации	12
Разработка технических условий проекта	18
Патентные исследования	10
Разработка структурной схемы	10
Разработка принципиальной схемы	10
Проектирование устройства	10
Разработка технологического процесса проведения работ	10
Чертежные работы	20
Оформление конструкторской документации	15
Обоснование экономической эффективности проекта	15
<b>ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ</b>	<b>130</b>

Принципиальная схема участников технического проекта представлена на рисунке 12

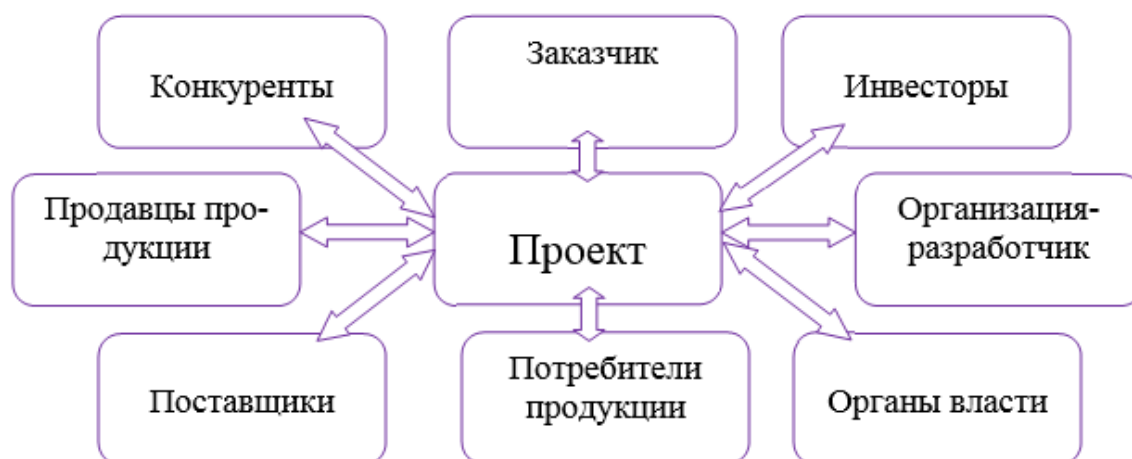


Рисунок 12 – Схема реализации проекта

Для успешного внедрения проектного предложения на предприятии необходимо сформировать организационную структуру, позволяющую

эффективно управлять проектом. Для реализации проекта целесообразно создать рабочую группу, для разработки проекта привлечь дополнительные ресурсы.

Формирование рабочей группы технического проекта занимает от 3 до 5 дней. Технология формирования рабочей группы отражена на рисунке 13.

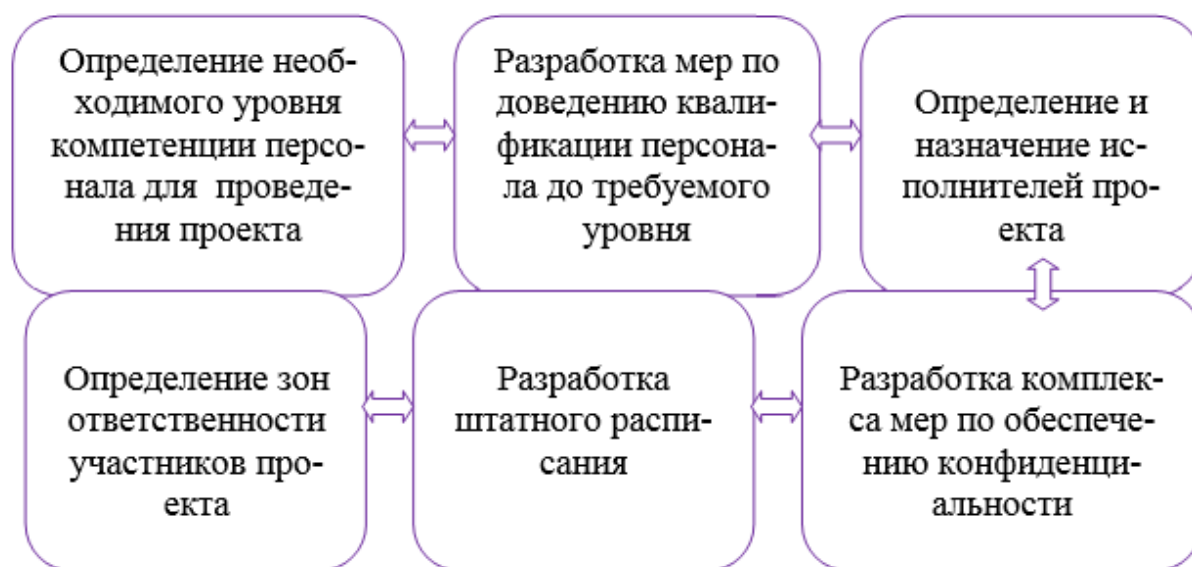


Рисунок 13 – Технология формирования рабочей группы

Представленная на рисунке 13 схема отражает общие организационные процессы и может быть скорректирована под конкретные условия выполнения работы.

### 3.2 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий

Стоимость разработки и внедрения проекта рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{созд}} = C_{\text{сразр}} + C_{\text{свнедр}}, \quad (5)$$

где  $C_{\text{сразр}}$  - стоимость разработки проекта;

$C_{\text{свнедр}}$  - стоимость внедрения проекта

Стоимость разработки проектных предложений получим по формуле:

$$C_{\text{разр}} = T_{\text{пр}} \cdot P_{\text{пр}} \cdot O_{\text{сн}} + T_{\text{рк}} \cdot C_{\text{ЭВМ}}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{пр}}$  – длительность цикла разработки оборудования в часах;

$P_{\text{пр}}$  – почасовая оплата труда участников проекта;

$O_{\text{сн}}$  – отчисления на социальные нужды;

$T_{\text{рк}}$  – время работы на электрооборудовании;

$C_{\text{ЭВМ}}$  – стоимость работы на электрооборудовании в единицу времени.

Для объективной оценки стоимости разработки за основу расчетов возьмем среднюю оплату труда по Самарскому региону: на 01.05.22г. она составила 40 950 руб. При 11 рабочих днях в месяц и 8 часовой продолжительности трудового дня почасовая оплата труда участников проекта составит:

$$P_{\text{пр}} = 40950 / 11 / 8 = 119 \text{ руб.}$$

Размер отчислений в социальные фонды в 2022 г. – 30%.

Продолжительность работы на электрооборудовании составила около 60% всего цикла работ:

$$T_{\text{рк}} = 140 \cdot 0,6 = 84 \text{ дней}$$

Стоимость дня работы на электрооборудовании рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ЭВМ}} = C \cdot (T \cdot n) \quad (7)$$

где:  $C$  – затраты на содержание и обслуживание оборудования (за месяц)

T – полезный фонд времени работы (за месяц)

n – количество единиц оборудования

Затраты на содержание и обслуживание рассчитываются по формуле:

$$C=C_{3П}+C_{AM}+C_{PEM}+C_{ЭЛ}+C_M \quad (8)$$

где:  $C_{3П}$  – затраты на обслуживание техники

$C_{AM}$  - амортизационные отчисления

$C_{PEM}$  - затраты на ремонт электрооборудования

$C_{ЭЛ}$  - затраты на электроэнергию

$C_M$  - затраты на материалы

Данные для расчета стоимости затрат на проведение работ по разработке оборудования приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Структура затрат по разработке оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей

Элементы затрат	Сумма (руб)
Материальные затраты	9000,00
Амортизационные отчисления	5610,00
Затраты на ремонт электрооборудования	1870,00
Затраты на электроэнергию	2700,00
Прочие	1700,00
Итого:	20880,00

Рассчитаем стоимость одного часа работы на электрооборудовании:

$$C_{э. об.} = 20880,00 / (18,34 \cdot 6 \cdot 16) = 11,86 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость разработки проекта составит:

$$C_{разр} = 130 \cdot 119 \cdot 1,34 + 84 \cdot 11,86 = 15470 + 996,2 = 16466 \text{ руб.}$$

Стоимость внедрения проекта рассчитаем по формуле:

$$C_{\text{внедр}} = C_{\text{фг}} + C_{\text{об}} + \Phi_{\text{мс}} \quad (9)$$

где  $C_{\text{фг}}$  – стоимость работ по формированию рабочей группы проекта;

$C_{\text{об}}$  – стоимость электрооборудования, необходимого для реализации проекта;

$\Phi_{\text{мс}}$  – фонд материального стимулирования участников проекта.

Стоимость работ по формированию рабочей группы проекта получим по формуле:

$$C_{\text{фг}} = T_{\text{фг}} \cdot R_{\text{рп}} \cdot O_{\text{сн}}, \quad (10)$$

где  $T_{\text{фг}}$  – длительность работ по формированию рабочей группы проекта в днях;

$R_{\text{рп}}$  – дневная оплата труда специалиста ;

$O_{\text{сн}}$  –отчисления на социальные нужды.

Длительность работ по формированию рабочей группы проекта в днях определена в п.4.2. и составляет 5 рабочих дней. Дневная оплата труда специалиста в среднем составляет 800 руб. Таким образом, получим:

$$C_{\text{фг}} = 5 \cdot 800 \cdot 1,34 = 5360 \text{ руб.}$$

Стоимость инструментов и электрооборудования, необходимых для реализации проекта, составляет  $C_{\text{об}} = 58000$  руб.

Фонд материального стимулирования формируется в виде премиальных выплат участникам проекта и составляет:

$$\Phi_{\text{мс}} = 50 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, стоимость внедрения проекта составит:

$$C_{\text{внедр}} = 5360 + 58000 + 50000 = 113360 \text{ руб.}$$

Совокупная стоимость разработки и внедрения проекта составит:

$$C_{\text{созд}} = 16466 + 113360 = 129826 \text{ руб.}$$

Оценка экономической эффективности проекта по разработке оборудования технологии для восстановления деталей автомобилей приводится в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты оценки экономического эффекта от внедрения проекта

Источник эффекта	Количественная оценка эффекта	Величина эффекта, тыс. руб.
Экономия производственных затрат	на 1%	100

Экономический эффект за счет качества и надежности автомобилей из-за улучшения потребительских характеристик может быть получен в долгосрочной перспективе, поэтому в расчет экономической эффективности не принят.

В расчете участвует оценка экономического эффекта, полученного за счет экономии производственных затрат:

$$Э_{\text{г}} = 100000 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность затрат на внедрение проектных мероприятий ( $Э$ ) рассчитывается по формуле:

$$Э = Э_{\text{г}} - E_{\text{н}} \cdot C_{\text{созд}}, \quad (11)$$

где  $Э_{\text{г}}$  – годовой экономический эффект;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

$C_{созд}$  - общая сумма затрат на создание проекта.

В расчетах используется отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, равный 0,3 ( $E_n = 0,3$ ).

Экономическая эффективность затрат по проекту составила:

$$\mathcal{E} = 100000 - 0,3 \ll 129826 = 61052 \text{ руб.}$$

Рассчитаем коэффициент окупаемости затрат по проекту:

$$E_p = \mathcal{E}_г / C_{созд} \quad (12)$$

$$E_p = 100000 / 129826 = 0,77$$

Должно выполняться условие  $E_p > E_n$ .

Условие эффективности проекта выполняется, т.к.  $0,77 > 0,3$ .

Срок окупаемости затрат  $T_{окуп}$  рассчитаем по формуле:

$$T_{окуп} = C_{созд} / \mathcal{E}_г \quad (13)$$

$$T_{окуп} = 129826 / 100000 = 1,3 \text{ года}$$

Третья глава диссертации отражает произведенный экономический анализ эффективности использования технологии восстановления деталей методом электрохимического натирания. Производимая оценка имеет характер первичного расчета. Себестоимость производства работ и конечная стоимость по представленной технологии может быть скорректирована на реальном производстве, что в первую очередь связано с особенностями

конкретного предприятия и особенностями проведения работ. Однако, проведенный расчет в целом отражает эффективность разработанной технологии и может быть применен в качестве технико-экономического обоснования при внедрении.

Расчитанные данные показывают общую эффективность проведения работ в сравнении с закупкой новых деталей. Данный результат особенно эффективен в сфере понимания того, что многие детали, ранее поставляемые из-за рубежа, в ближайшее время будут недоступны для поставок, поэтому обеспечение высокой степени готовности подвижного состава будет возможно только при условии выстраивания системы восстановления транспортных средств.



## Заключение

В рамках диссертационной работы было выполнено исследование методик восстановления деталей автомобиля методом электрохимического натирания. Была произведена разработка технологического процесса восстановления поверхности подшипниковых отверстий. Произведена разработка конструкции экспериментальной установки для проведения операций натирания. Произведены работы, поставленные в рамках выпускной квалификационной работы в качестве практических задач, а именно:

- проведен анализ методик восстановления подшипниковых отверстий картера коробки передач грузового автомобиля;
- выполнен комплексный анализ и произведена формулировка проблем, которые являются характерными для проведения восстановления корпусных деталей;
- выполнен анализ путей решения имеющихся проблем при реализации технологии восстановления корпусных деталей;
- выполнена практическая работа, результатом которой явилась разработка конструкции стенда для выполнения работы по восстановлению поверхности детали методом электрохимического натирания;
- произведена предварительная оценка эффективности предлагаемых решений в рамках диссертационного исследования.

Проведенная работа и решенные в ее рамках задачи изложены в трех главах магистерской диссертации.

В первой главе диссертации рассматривались различные методики, касающиеся процесса восстановления изношенных деталей транспортных средств. Были рассмотрены методы восстановления деталей напылением, наплавкой и электрохимические методы. Был выполнен сравнительный анализ методов, в ходе которого определены преимущества и недостатки каждого из них. Результатом анализа явилось выявление технологических

проблем, характерных для метода восстановления электрохимическим натиранием. Были выделены ключевые проблемы, решение которых было определено как практическая значимость от выполняемой работы.

Во второй главе был произведен анализ практических мероприятий, необходимых для последовательной реализации технологического процесса восстановления корпусных деталей транспортного средства. Произведен расчет сходимости практического эксперимента, на основании полученных результатов сформированы математические модели, описывающие влияние различных параметров натирания на результаты работы.

В ходе проведения эксперимента было произведено выявление влияния на результат следующих параметров:

- влияние силы тока на качество нанесения слоя;
- изменение направления натирания в продольном и поперечном направлениях;
- изменение толщины натираемого слоя.

Каждый из видов исследования потребовал проведения испытаний, с составлением математических моделей режимов, чтобы подтвердить результаты проведенных испытаний и выявить зависимость.

Выполнена практическая реализация технологического процесса, реализованная как описание технологии проведения работ по восстановлению деталей. Приводятся результаты экспериментальных работ по восстановлению изношенных деталей. Результат представлен в виде технологической карты и комплекса технической документации на установку для проведения работ, связанных с восстановлением поверхности подшипниковых отверстий.

Третья глава диссертации отражает произведенный экономический анализ эффективности использования технологии восстановления деталей методом электрохимического натирания. Производимая оценка имеет характер первичного расчета. Себестоимость производства работ и конечная стоимость по представленной технологии может быть скорректирована на

реальном производстве, что в первую очередь связано с особенностями конкретного предприятия и особенностями проведения работ. Однако, проведенный расчет в целом отражает эффективность разработанной технологии и может быть применен в качестве технико-экономического обоснования при внедрении.

На основании изложенного о произведенных в рамках магистерской диссертации работах и решенных задачах, возможно сделать вывод об успешном выполнении выпускной квалификационной работы.

## Список используемых источников

1. Аверьянова, И. О. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки: учебное пособие / И. О. Аверьянова, В. В. Клепиков. — Москва : ФОРУМ, 2020, — 304 с. — (Профессиональное образование). —
2. Андрушевич, А. А. Микроструктуры черных и цветных металлов : монография / А. А. Андрушевич, А. Г. Анисович. - Минск : Беларуская навука, 2015. - 132 с. - ISBN 978-985-08-1883-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1066219> – Режим доступа: по подписке
3. Виноградов, В. М. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств: Учебное пособие / Виноградов В.М., Черепяхин А.А., Солдатов В.Ф. - Москва :КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 346 с.: - (Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104567-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1036600> – Режим доступа: по подписке
4. Волхонов, В. И. Основы технологии изготовления, монтажа, испытаний и ремонта судовых энергетических установок : учебное пособие / В. И. Волхонов. - Москва : МГАВТ, 2011. - 144 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/403520> – Режим доступа: по подписке
5. Выбор и применение материалов : учебное пособие. В 5 т. Т. 2. Выбор и применение конструкционных сталей / Н. А. Свидунович [и др.] ; под ред. Н. А. Свидуновича. - Минск : Беларуская навука, 2019. - 626 с. - ISBN 978-985-08-2389-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1067960> – Режим доступа: по подписке
6. Горохов, В. А. Материалы и их технологии. В 2 ч. Ч. 2 : учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе ; под ред. В.А. Горохова — Москва : ИНФРА-М, 2020, — 533 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100743-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1064170> – Режим доступа: по подписке

7. Горохов, В. А. Материалы и их технологии : учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе ; под ред. В.А. Горохова. В 2 ч. Ч. 1. — Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2019. — 589 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100742-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1014069> – Режим доступа: по подписке

8. Девятков, В. В. Deviatkov, V. V. Creation principals of universal modeling environment for simulation application development / V. V. Deviatkov, S. A. Vlasov, T. V. Deviatkov // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, June 3-5, 2009, Moscow, Russia.

9. Долгих, А.И. Слесарные работы : учебное пособие / А.И. Долгих, С.В. Фокин, О.Н. Шпортько. - Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2016. - 528 с. : ил. - (Мастер). - ISBN 978-5-16-100050-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/941923> – Режим доступа: по подписке

10. Елагина, О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. Ю. Елагина. - Москва : Университетская книга; Логос, 2009. - 488 с.: ил. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-450-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/468686> – Режим доступа: по подписке

11. Жирнов, А.А. Применение гидродробеструйной обработки при ремонте коленчатых валов двигателей автомобилей семейства ЗИЛ: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / А.А. Жирнов. – Саранск, 2006. - 145с.

12. Завистовский, С.Э. Технологическое оборудование машиностроительного производства : учебное пособие / С.Э. Завистовский. — Минск : РИПО, 2019. - 351 с. - ISBN 978-985-503-849-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1055959> – Режим доступа: по подписке

13. Иванов, А. С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. С. Иванов, П. А. Давыденко, Н. П. Шамов. - Москва : ИЦ РИОР : НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 276 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-100268-1.

14. Иванов, И. С. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин : учеб. пособие / И.М. Иванов. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 224 с. — ISBN 978-5-16-100179-0, –

15. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении : монография / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, В. А. Беспалов [и др.]; под общ ред. В. И. Аверченкова, А. В. Аверченкова. - 2-е изд., стереотип. - Москва : Флинта, 2011.- 180 с. - ISBN 978-5-9765-1257-3.

16. Киселев, М. Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / Киселев М.Г., Мрочек Ж.А., Дроздов А.В. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2014. - 389 с. (Высшее образование: Магистратура) ISBN 978-985-475-624-0, - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/441209>. – Режим доступа: по подписке

17. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. - 488 с. - ISBN 978-5-7638-3166-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/516157> – Режим доступа: по подписке

18. Лебедев, А. Т. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном обслуживании [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Т. Лебедев, Р.А. Магомедов, А.В. Захарин и др.; Ставропольский гос. аграрный ун-т. - Ставрополь, 2014. - 96 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/514975> – Режим доступа: по подписке

19. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: Учебно-справочное руководство / В.А. Струк, Л.С. Пинчук,

Н.К. Мышкин, П.А. Витязь. - Долгопрудный: Интеллект, 2010, - 536 с. ISBN 978-5-91559-068-6.

20. Основы технологии сборки в машиностроении : учеб. пособие / И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 235 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-107680-4.

21. Остяков, Ю. А. Проектирование механизмов и машин: эффективность, надежность и техногенная безопасность: Учебное пособие / Остяков Ю.А., Шевченко И.В. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 260 с. (ВО: Бакалавриат (МАТИ-МАИ)) ISBN 978-5-16-011108-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/513552> – Режим доступа: по подписке

22. Пачурин, Г. В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов / Пачурин Г.В. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 132 с. ISBN 978-5-16-107318-6 (online). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/98189> – Режим доступа: по подписке

23. Перфилов, М. Е. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : курс лекций / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т.; сост.: М. Е. Перфилов. – Новосибирск, 2012. – 283 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/516398> – Режим доступа: по подписке

24. Погонин, А. А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Погонин, А.А. Афанасьев, И.В. Шрубченко. — 3-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2020, — 530 с. - ISBN 978-5-16-106238-8.

25. Погонин, А. А. Восстановление точности крупногабаритных деталей с использованием приставных станочных модулей: Монография / Погонин А.А. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 191 с. ISBN 978-5-16-105731-5 (online). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/899755> – Режим доступа: по подписке

26. Положение о составе затрат с постатейными материалами/Сост. Верховцев А. В. - 5-е изд. - (Серия "Бухгалтерский учет")ИНФРА-М, 2001. - 156 с., обложка, тираж 3000, ISBN 5-16-000640-0, - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/18467> – Режим доступа: по подписке
27. Скворцов, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / В.Ф. Скворцов. — 2-е изд. — Москва : ИНФРА-М, 2020, — 330 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-108020-7.
28. Схиртладзе, А. Г. Ремонт технологического оборудования: учебник / А. Г. Схиртладзе, В.А. Скрыбин. - Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2018. - 352 с. - ISBN 978-5-16-106229-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/944189> – Режим доступа: по подписке
29. Технология сельскохозяйственного машиностроения : учебник / М.А. Федоренко, Т.А. Дуюн, Ю.А. Бондаренко, А.А. Погонин. — 2-е изд., стереотип. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 467 с. — ISBN 978-5-16-106088-9.
30. Технология ремонта машин : учебник / В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.] ; под ред. В.М. Корнеева. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 314 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_59d25702b797a5.36101100](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59d25702b797a5.36101100), - ISBN 978-5-16-106257-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/989548>– Режим доступа: по подписке
31. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования : учеб. пособие / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, В.М. Корнеев [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 346 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://znanium.com>]. — ISBN 978-5-16-105517-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966987>– Режим доступа: по подписке
32. Технологические процессы в сервисе: Учебное пособие / А.Ф. Пузряков, М.Е. Ставровский, А.В.Олейник и др.; НП "Уником Сервис". -



Москва : Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. - 240 с.: ил.; . - (Технологический сервис). ISBN 978-5-98281-250-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/221242> – Режим доступа: по подписке

33. Успенский, И.А. Основы проектирования вспомогательных технологических процессов технического обслуживания и ремонта автотранспорта, сельскохозяйственных, дорожных и специальных машин [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, Г.К. Рембалович, Е.В. Лунин и др. - Рязань : Изд. ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», 2014. - 204 с. - ISBN 978-5-98660-225-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/517268> – Режим доступа: по подписке

34. Филиппов, М. А. Материаловедение в автомобилестроении: Учебное пособие / Филиппов М.А., - 2-е изд., стер. - Москва :Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 310 с. ISBN 978-5-9765-3261-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/946936> – Режим доступа: по подписке

35. Филонов, И. П. Инновации в технологии машиностроения: Учебное пособие / Филонов И.П., Баршай И.Л. - Мн.:Вышэйшая школа, 2009. - 110 с. (ВУЗ)ISBN 978-985-06-1684-5.

36. Черкасов, В. А. Надежность машин и механизмов: Учебник / Черкасов В.А., Кайтуков Б.А., Капырин П.Д., - 2-е изд., (эл.) - Москва :МИСИ-МГСУ, 2017. - 273 с.: ISBN 978-5-7264-1651-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/969413> – Режим доступа: по подписке

37. Chandler, A. Strategy and Strategik role for Purchasing rashekar [Text] / A. Chandler // The International Journal of Logistics Management 10, no. 2 (1999). – P. 27-40,

38. Chastain Clark E. How management Accountants Coped With the Recessin [Text]// Management Accounting. – 1985. – January. – P.34-38.

39. Coase, R. H. The Nature of the Firm [Text] / R. H. Coase // Economics – Vol. 4. – 1937. – P. 62-76. 178. Coopers & Lybrand Consultants, Survey of Benchmarking in the UK. - CBI Manufacturing Council, London, 1993, – P. 237.

40. Erik Oberg, Holbrook L. Horton Machinery's Handbook: A Reference Book for the Mechanical Engineer, Designer, Manufacturing Engineer, Draftsman, Toolmaker, and Machinist. [Text] / Erik Oberg, Holbrook L. Horton. - Industrial Press, 2008

41. Hitt, M. A., Ireland, R. D., Hoskisson, R. E. Strategis management: competitiveness and globalization [Text] / M. A. Hitt, R. D. Ireland, R.E. Hoskisson. – South-Western College Publishing, 2001. – P. 1044.

42. Kaplan, Robert S., Norton, David P. The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment. [Text] / Robert S. Kaplan, David P. Norton. – Harvard Business School Press, 2001.