

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

На правах рукописи

АДИГАМОВА МАДИНА НАИЛЬБЕВНА

**Разработка комплексной технологии упрочнения деталей ТНВД
при их изготовлении и восстановлении**

Научно-квалификационная работа (диссертация)

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

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

Научный руководитель
Доктор технических наук, профессор
Адигамов Наиль Рашатович

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного доклада
об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы
(диссертации) на государственной итоговой аттестации
(протокол № 14 от 03 июня 2019).

Зав. кафедрой, профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

| | |
|--|--|
| ВВЕДЕНИЕ..... | |
| ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА ТНВД..... | |
| 1.1. Факторы, влияющие на износ элементов ТНВД..... | |
| 1.2. Анализ технологических процессов ремонта ТНВД..... | |
| 1.3 Исследование силовой кинематической цепи топливных насосов... | |
| ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ..... | |
| 2.1 Область применения электроискрового упрочнения высокоточных деталей машин..... | |
| 2.1.1 Технологический процесс электроискровой обработки деталей машин..... | |
| 2.1.2 Область использований технологий электроискровой обработки деталей машин..... | |
| 2.1.3 Возможность использования электроискрового упрочнения при производстве высокоточных деталей машин | |
| 2.2 Разработка установки для электроискрового упрочнения..... | |
| 2.3. Технические характеристики для электроискровой обработки деталей машин..... | |
| ГЛАВА 3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | |
| 3.1 Используемое оборудование для проведения сравнительных лабораторных исследований упрочненных образцов..... | |
| 3.2. Результаты лабораторных исследований натуральных образцов с упрочняющими покрытиями..... | |
| 3.3 Исследования лабораторных образцов упрочненных по комплексной технологии на морфологию..... | |

| | |
|---|--|
| ГЛАВА 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | |
| 4.1 Ресурсные испытания ТНВД с экспериментальными упрочненными плунжерными парами..... | |
| 4.2 Результаты исследования технических характеристик ТНВД с упрочненными плунжерными парами..... | |
| 4.3 Оценка сходимости результатов экспериментальных и теоретических исследований..... | |
| ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА ТНВД..... | |
| 5.1. Обоснование эффективности внедрения упрочняющих технологий при ремонте ТНВД..... | |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | |
| ЛИТЕРАТУРА..... | |
| ПРИЛОЖЕНИЕ..... | |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы, которая решается в предложенной научно-квалификационной работе заключается в том, что на современном этапе производства и ремонта высокоточных деталей топливной аппаратуры высокого давления (ТНВД) необходимо использовать новые комплексные технологии по повышению износостойкости рабочих поверхностей. Комплексность технологий заключается в комбинировании либо нескольких технологий, либо в комбинировании упрочняющих технологий, что повысит ресурс работы высокоточных деталей.

Качественный ремонт ТНВД невозможен без разработки новых технологий изготовления и восстановления их высокоточных деталей с использованием специализированного и универсального технологического оборудования и оснастки. Такое производство невозможно без разработки и внедрения перспективных технологий в области упрочнения высокоточных деталей ТНВД.

Цель работы. Повышение эффективности эксплуатации топливной аппаратуры дизельных двигателей за счет разработки комплексных технологий поверхностного упрочнения высокоточных деталей ТНВД.

Задачи исследования:

- Провести анализ литературных источников по технологиям упрочнения высокоточных деталей ТНВД;
- Разработка устройств для электроискровой обработки высокоточных деталей ТНВД с получением поверхностей с заданной износостойкостью;
- Разработка методики и проведения лабораторных исследований, предложенных технологий;
- Теоретическая обработки результатов исследований;
- Технико-экономическое обоснование разработанных технологий восстановления деталей ТНВД.

Объект исследования. Технологии комплексного электроискрового упрочнения высокоточных деталей ТНВД.

Предмет исследования. Зависимости влияния режимных параметров на физико-механические свойства восстанавливаемых поверхностей.

Научная новизна.

1. Установлены взаимосвязи между режимами комплексной электроискровой обработки и физико-механическими свойствами восстановленных поверхностей.

2. Разработка комплексной технологии электроискрового восстановления высокоточных деталей топливной аппаратуры.

Методы исследования: В экспериментальных и теоретических исследованиях используются методы расчета, основанные на положениях теории надежности, математической статистики и теории вероятности. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием теории интерполяционных полиномов Лагранжа.

Практическая значимость. По результатам исследований обоснованы режимные параметры и разработаны технологии для электродинамической накатки при восстановлении пружин и электроискровой обработки при восстановлении высокоточных деталей топливной аппаратуры.

Апробация работы осуществлялась на научно-практических конференциях Казанского ГАУ в 2017 – 2019 годах.

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

- Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние, проблемы и перспективы развития сервиса агропромышленного комплекса»;

- Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы»;

- 77-ая студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука - аграрному производству»;

- Научно-практическая конференция «Аграрная наука XXI века»;
- Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса».

Публикации. По теме диссертации опубликовано статей.

Структура и объем научно-квалификационной работы. НКР состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на - страницах машинописного текста, содержит - рисунков и - таблиц. НКР содержит библиографию из - наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА ТНВД

1.1. Факторы, влияющие на износ элементов ТНВД

Как и в любых других механических подвижных сопряжениях агрегатов машин в ТНВД происходит изнашивание его основных деталей особенностью изнашивания в ТНВД является то, что в насосе используются высокопрочные, прецизионные детали, износ которых существенно влияет на эффективность работы самого насоса.

Также при износе возникают структурные изменения на поверхности металла, меняется шероховатость, образуются задиры, царапины, имеют место возникновения фактора наклепа. Все эти вышеперечисленные факторы также оказывают существенное влияние на износостойкость подвижных сопряжений деталей ТНВД.

Вследствие этого в процессе эксплуатации из-за износов ответственных прецизионных сопряжений происходит частичное, а в некоторых случаях и полная работоспособность самого насоса.

Также на эффективность эксплуатации ТНВД существенное влияние оказывает качество материалов, используемых на изготовление деталей. точность их изготовления. В качестве исходного материала для деталей используется высоколегированные стали типа ШХ-15.

Существенное влияние на долговечность работы ТНВД оказывает квалификация производственных рабочих, которые проводят работы, связанные как с обработкой поверхности, так и работой, связанной с общей сборкой.

На ресурс работы ТНВД также существенное влияние оказывают внешние факторы, связанные с эксплуатацией дизелей. К ним относятся дорожные и климатические условия, влажность температуры окружающего воздуха, нагрузочные характеристики, реализуемые на двигателе.

Наиболее существенное влияние на ресурс работы ТНВД оказывает качество и чистота дизельного топлива.

В некоторых случаях при заливке дизельного топлива используются специальные замшевые фильтры для недопущения попадания абразивных частиц в топливный бак и далее в зазорные пространства подвижных соединений.

Поэтому качество изготовления деталей ТНВД, качество проведения сборочных и обкаточно-регулирующих работ по ТНВД, качество технической эксплуатации ТНВД существенным образом влияет на полный ресурс эксплуатации топливной аппаратуры отечественных и зарубежных машин.

Все эти факторы можно оценить как надежность работы топливной аппаратуры отечественных и зарубежных дизелей. Основными свойствами надежности при оценке работы ТНВД:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

1.2. Анализ технологических процессов ремонта ТНВД

Головной организацией по разработке технической документации на ремонт сельскохозяйственной техники и его агрегатов, является Государственный научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ).

Все технические требования на ремонт и обслуживание топливных насосов по рекомендациям ГОСНИТИ оформлены в виде технической документации и эта документация является обязательной для использования всех ремонтно-обслуживающих предприятий, специализирующихся на ремонте топливной аппаратуры.

В эту техническую документацию входит: ведомость документов, карты эскизов, маршрутные карты технологического процесса, карты технологического процесса разборки, карты технологического процесса дефектации, операционные карты технологических процессов восстановления и мехобработки, карты технологического процесса сборки, контроля, обкатки и испытания.

В этой технической документации на ремонт указывается:

- виды дефектов;
- коэффициент повторяемости этих дефектов;
- допустимые и возможные способы устранения этих дефектов;
- последовательность всех технологических операций;
- номинальные значения всех режимов обработки;
- последовательность проведения сборочных, контрольных, обкаточных работ.

Только при соблюдении всех требований технической документации на ремонт ТНВД можно ожидать достижение заданного послеремонтного ресурса работы ТНВД.

Топливные насосы дизельных двигателей довольно таки сложный агрегат, который в своем составе имеет много подвижных сопряжений и в нем используется большое количество высокоточных деталей. Поэтому для обеспечения эффективности работы ТНВД необходимо не только обеспечить заданное качество восстановления деталей, но и обеспечить точную работу всей кинематической цепи, которая связывает все детали.

На рисунке 1.1 приведена кинематическая силовая цепь, которая по своей функциональной сути показывает технические связи всех деталей, входящих в конструкцию топливного насоса.



Рисунок 1.1 – Кинематическая силовая цепь топливного насоса высокого давления

Эта цепь в себя включает нагнетательные клапаны, плунжерные пары, дозаторы, пружины толкателей, толкатели, ролики толкателей, кулачковые шайбы, кулачковый вал, подшипники, крышки подшипников, корпус ТНВД.

Вследствие того, что в топливном насосе необходимо обеспечить довольно таки высокую точность работы прецензионных сопряжений и сложности кинематической цепи, предъявляются высокие требования к восстановлению дорогостоящих деталей.

При восстановлении этих деталей необходимо выполнить ряд важных требований, к которым относятся точность восстановления заданных размеров и форм поверхностей, требования к заданным физико-механическим свойствам поверхности, точность пространственного расположения детали.

Для выполнения этих требований было опубликовано много публикаций по этой теме [].

Одним из главнейших прецензионных сопряжений ТНВД является плунжерная пара от эффективности ее работы во многом зависит эффективность работы топливного насоса в целом.

Ввиду того, что плунжерная пара имеет повышенное требование по точности изготовления, и работает она непосредственным в контакте с топливом, в котором могут быть абразивные частицы, то плунжерная пара наиболее часто выходящий из строя элемент.

Назначение плунжерной пары – подача в полость высокого давления топливной системы дозированного количества топлива с определенным высоким давлением за короткий промежуток времени в пределах 0,001 – 0,01 сек.

Нарушение в работоспособности плунжерной пары приводит к тому, что теряется эффективная мощность дизеля, что приводит к постепенным отказам техники.

Нарушение регламента работы плунжерной пары требует обязательного проведения ремонта ТНВД в целом.

Этот ремонт как правило нельзя сделать непосредственно на месте, а для проведения этого ремонта топливный насос необходимо отправить в специализированный ремонтный участок, на котором имеется специальное технологическое оборудование и оснастка, а также обкаточно-испытательные стенды.

В таких ремонтно-обслуживающих предприятиях, как правило изношенные плунжерные пары выбраковываются и утилизируются, а вместо них устанавливаются новые. Хотя это не всегда эффективно. Потому что плунжерные пары являются одним из самых дорогостоящих элементов к топливному насосу, стоимость которых достигает иногда до 30% стоимости самого насоса.

В процессе эксплуатации рабочие поверхности плунжерных пар подвергаются износу. К основным износам прецизионных деталей относятся: абразивный, механический с сопутствующим абразивным, жидкостно-

абразивный, коррозионный, окислительный, схватывание, кавитация и усталостный. У плунжера поверхность изнашивается больше в сторону головки, у гильзы – в сторону впускного (перепускного) окна. Заметный износ у кромки головки плунжера по окружности. По описанию некоторых авторов плунжерная пара изнашивается особенно сильно в определенных местах, получивших название участков местных износов. У плунжера – часть поверхности головки, особенно участок, расположенный против впускного окна гильзы и винтовая кромка, у гильзы – большой износ у впускного и перепускного окон. Считается, что местный износ достигает порядка 20 мкм, однако надо полагать, что эти данные получены в случае применения некачественных топливных фильтров тонкой очистки или в тот период они не существовали. Современные топливные фильтры тонкой очистки обеспечивают тонкость отсева абразивных частиц до 3-5 мкм []. Поэтому при правильной эксплуатации топливной аппаратуры на рабочих поверхностях плунжерной пары не могут образоваться риски и царапины глубиной более этих величин.

В связи с дороговизной плунжерных пар в настоящее время используется ряд технологий на ремонтно-обслуживающих предприятиях, которые оснащены необходимым оборудованием. Эти технологии предусматривают разборку плунжерных пар, микрометраж, разбивку их по группам, переукомплектование с последующим проведением притирочных работ по плунжерным парам. При этом плунжеры и плунжерные втулки обезличиваются согласно технологии.

Структурная схема технологического процесса восстановления плунжерных пар приведена на рисунке 1.2. На этой схеме указано строгая последовательность выполнения всех стадий технологического процесса.

Предлагаемая схема производственного процесса восстановления плунжерных пар позволяет максимально использовать весь ремонтный фонд как плунжеров, так и плунжерных втулок.

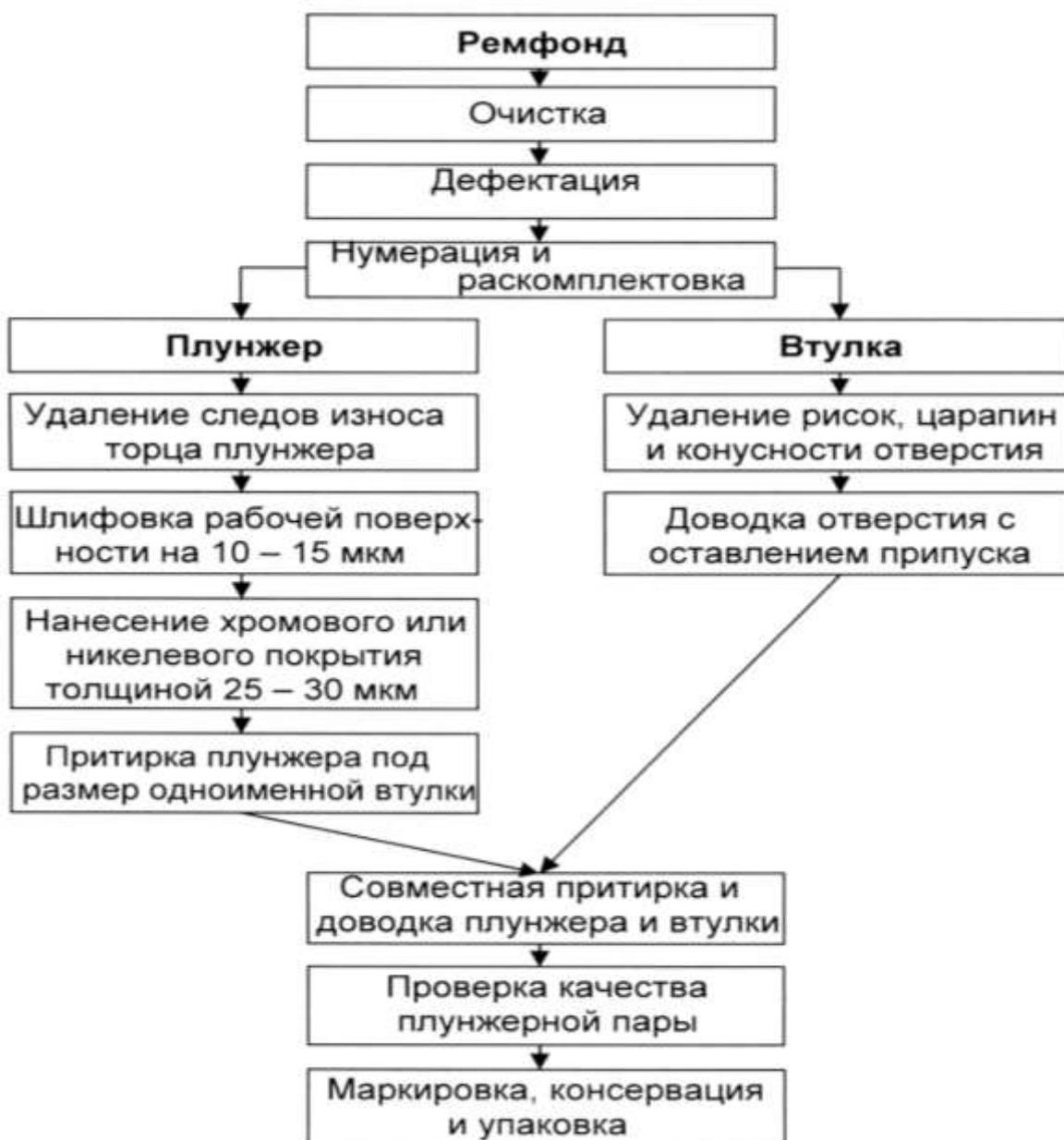


Рисунок 1.2 – Структурная схема технологического процесса восстановления плунжерных пар

После восстановления плунжеров одним из способов (искровая комплексная обработка, хромирование, никелирование) необходимо провести мехобработку плунжера и втулки до увеличенного ремонтного размера с последующей их взаимной притиркой.

Процесс совместной притирки плунжерных пар осуществляется при вращении закрепляемой детали и медленном возвратно-поступательном движении вручную незакрепленной. Вращение закрепленной детали в преде-

лах от 120 до 800 об/мин в зависимости от диаметра детали и условий притирки. При совместной притирке используется одномикронная паста 1М или другие мелкие пасты. После совместной притирки и их промывки плунжерную пару не обезличивают. Затем плунжерную пару проверяют на качество. В годной плунжерной паре не должно быть заедания плунжера во втулке. Наличие такого дефекта является выбраковочным признаком. Заедание отсутствует, если плунжер свободно опускается в разных положениях по углу поворота во втулке при установке пары под углом 45°. Конечной проверкой годности плунжерной пары является ее испытание на гидроплотность на стенде типа КИ-3369 или КИ-759. Обеспечение динамического давления в 25 МПа означает, что зазоры в прецизионной паре отвечают техническим требованиям на геометрическую форму и не превышают 1 – 3 мкм [].

Недостатком этой технологии является то, что более 30% плунжеров и плунжерных втулок в процессе обезличенного переукомплектования выбраковываются и уходят в утиль. Хотя это довольно такие в изготовлении, а значит и дорогие детали.

Известно техническое решение по восстановлению плунжерной пары методом механической обработки втулки и плунжера. Восстановлению подвергают втулку и плунжер от разных плунжерных пар. При этом плунжер берут от плунжерной пары с внутренним диаметром втулки на единицу большим диаметра восстанавливаемой втулки для образования после восстановления новой плунжерной пары. После механической обработки производится подборка по размерам. Недостатками данной технологии являются:

- требуется восстановление азотированных слоев поверхностей плунжера и отверстия втулки с дальнейшей их повторной закалки до твердости HRC не менее 60 единиц;
- возможно восстановление не более 50% плунжерных пар, так как плунжер с меньшего номера плунжерной пары и втулка с большего номера останутся не использованными, а это приводит к браковке не менее половины ремфонда с дальнейшей его сдачей в металлолом.

По сведениям литературы, для восстановления плунжерных пар предлагаются и другие методы:

- создание смазочной масляной пленки на поверхности трения за счет электрообработки рабочих жидкостей;
- нанесение твердосмазочных покрытий на основе меди и политетрафторэтилена (фторопласта) толщиной 0,05-1,0 мкм;
- обработка плунжерных пар препаратом «ХАДО-гель»;
- диффузионная металлизация;
- создание модифицированного слоя «ГТМ». []

Сам плунжер и плунжерная втулка изнашиваются неравномерно, что вызывает значительные трудности при их укомплектовании. Существенной потере металла подвергается загрузочные пояски клапана, вследствие чего резко меняется их геометрическая форма, приобретая некоторую конусность.

Наименьший износ происходит у верхнего торца пояска – до 1-мкм, наиболее большой износ происходит у нижней части – до 50 мкм.

Такие износы приводят к нарушению работы клапана, вызывают перекосы, нарушается герметичность. И это также приводит к одностороннему износу самого разгрузочного пояска.

У самого гнезда клапана существенному влиянию износа подвергается сама фаска и направляющее изменение формы канавки обусловлено тем, что в сопряжении используются детали с различными материалами.

Важное значение в работе ТНВД имеют пружины толкателя. Эти пружины обеспечивают качественную работу ролика и толкателя. И обеспечивает прижатие к кулачковой шайбе и кулачкового вала.

При работе пружины не допускается разрыва кинематической цепи силового привода топливного насоса. Разрывы в силовой цепи происходят как правило на переходном профиле кулачка, либо при ослаблении самой пружины (потери упругих свойств) [].

Пружины, как правило изготавливают из высоколегированных сталей с высокими упругими свойствами. Как правило в ремонтно-обслуживающих

предприятиях, пружины которых потеряли свои упругие свойства, выбраковываются.

На кафедре Эксплуатации и ремонта машин Казанского ГАУ разработано устройство для восстановления упругости пружин, защищенное патентом [].

Сущность способа восстановления упругих свойств пружин, заключается в создании на поверхности витков пружин сжимающих напряжений. Эти напряжения создаются вследствие электродинамического воздействия специальной роликовой накатки.

Пружины считаются годными, если:

- поверхности витков ровные и гладкие, без следов коррозии, трещин и надломов;
- опорные торцы плоские и перпендикулярны к оси пружины. При этом неперпендикулярность торца оси пружины не более 0,5 мм на длине пружины;
- неравномерность шага витков пружины не превышает 20%.

Пружины должны отвечать по своим техническим характеристикам конкретным ТНВД. Использование б/у пружин возможно при уменьшении ее жесткости не более, чем на 10% от номинальной. Пружины, не отвечающие своим техническим характеристикам, бракуются.

Очень важным элементом силовой кинематической цепи является толкатель. Износ его рабочих поверхностей осуществляется неравномерно из-за сложности геометрии.

В современных ТНВД используются толкатели роликового типа, внутри которого имеется игольчатый подшипник.

Толкатель обеспечивает движение плунжера в плунжерной втулке. Толкатели фиксируются в своей осевой плоскости при помощи рейки, регулирующей подачу топлива. При проведении сборочных работ рейка непосредственно в топливный насос устанавливается после монтажа толкателей.

Толкатель работает в условиях динамических нагрузений и в условиях жидкостного трения, что предъявляет высокие требования к его износостойкости. Поэтому толкатели изготавливаются из высоколегированных сталей 25Х5М, которые в последствии подвергаются термической обработке. Как правило, рабочие поверхности толкателя имеют твердость порядка HRC58.

В связи с вышеизложенным также появляется необходимость восстанавливать рабочие поверхности толкателя, работающие в сложных условиях, при этом не просто восстанавливать, а восстанавливать рабочие поверхности толкателя, с заданными физико-механическими свойствами с тем, чтобы повысить ресурс их работы.

Одной из сложнейших деталей ТНВД является кулачковый вал. При его изготовлении к нему предъявляются высокие требования по износостойкости рабочих поверхностей кулачков, жесткости самой конструкции вала и высокой точности его изготовления.

Конструкция кулачкового вала первоначально была разработана в Центральном научно-исследовательском институте топливной аппаратуры (ЦНИТА). Кулачковый вал является основным элементом сложной кинематической цепи. От состояния его рабочих поверхностей, от его жесткости во многом зависит эффективность работы топливного насоса.

Существует ряд технологий восстановления кулачкового вала. К ним относятся обработки поверхности до выведения следов износа и под ремонтный размер; методы электролитического наращивания различных металлов (сталь, хром); различные методы наплавки и в последнее время используются различные методы металлизации (дуговая, плазменная, детонационная).

Прежде чем отправить кулачковый вал на участок восстановления, он подвергается тщательной дефектации. На участке дефектации в первую очередь в центрах определяется деформация вала (прогиб), который по техническим требованиям не должен превышать 0,05 мм. Если этот показатель выше допустимого, кулачковый вал подвергается холодной правке на прессе в специальных призмах.

Максимально изношенные посадочные места под подшипники и сальники кулачкового вала восстанавливаются методом наращивания с последующим их шлифованием под номинальный размер. При этом тщательно контролируется допуск овальности и конусности, который не должен превышать 0,02 мм.

Также строго контролируется допуск перпендикулярности опорных торцов к рабочим поверхностям шеек. Этот допуск не должен превышать 0,03 мм.

Одной из важнейших операций по мимо восстановления является механическая обработка поверхности кулачков вала. При допустимых износах поверхностях кулачков вала не более 0,3 мм, допускается их перешлифовка. Но при условии, что глубина упрочненного (закаленного) слоя не должна быть меньше 0,35 мм.

Эксцентрики на кулачковом валу восстанавливают по аналогичной технологии. Изношенную или дефектную резьбу на кулачковом валу растачивают с последующим нарезанием ремонтной резьбы.

Также используются способы вибродуговой наплавки с последующим нарезанием резьбы номинального размера.

Поверхности под внутреннее кольцо подшипника обязательно должны быть восстановлены под номинальный размер. Поэтому их подвергают либо вибродуговой наплавке, либо дуговой металлизации с последующим шлифованием.

В корпус топливного насоса устанавливаются шариковые либо роликовые подшипники качения. Гнезда установки подшипников перед монтажом тщательно контролируются.

Неправильная установка подшипников качения ведет к перекосу кулачкового вала, что в свою очередь нарушает правильность функционирования силовой кинематической цепи топливного насоса в целом.

В процессе эксплуатации ТНВД подшипники изнашиваются, поэтому при ремонте необходимо проверять степень их износа. Эти вопросы отраже-

ны в разработанных ГОСНИТИ технических требованиях на капитальный ремонт топливной аппаратуры дизелей и рассмотрены некоторыми учеными [].

Основной базовой деталью ТНВД является его корпус. От точности его изготовления во многом зависит эффективность работы насоса в целом. На ремонт корпуса топливного насоса также в ЦНИТА разработана технологическая документация. Корпус ТНВД должен обеспечивать заданное пространство расположения всех деталей топливного насоса. Для этого он должен обладать определенной жесткостью, поэтому корпус ТНВД изготавливают либо из чугуна, либо из алюминиевых сплавов.

Все нагрузки, которые распределяются в топливном насосе, воспринимаются корпусом, поэтому при сборке топливного насоса надо обращать внимание на усилие затяжки болтов и штуцеров, так как в месте их монтажа наблюдается концентрация напряжения.

К основным дефектам корпуса ТНВД можно отнести износ направляющих отверстий толкателей, износ пазов под ось ролика толкателя, посадочные места подшипников качения и сальников кулачкового вала. Также в корпусе могут наблюдаться изломы и трещины.

Направляющие для толкателей изнашиваются, вследствие чего образуются отклонения округлости (овальность и конусность). Максимальная величина износа в направляющих составляет 0,35 мм.

Все дефекты по корпусу топливного насоса определяются в процессе технических измерений на участке дефектации с использованием универсального и специального контрольно-измерительного оборудования.

Корпуса топливных насосов выбраковываются при изломах, сквозных трещинах, и хрупких разрушениях внутренних перемычек.

Приемка корпуса ТНВД в ремонт производится при следующих случаях:

- при трещинах (за исключением вышеназванных);
- износе поверхностей направляющих гнезд под толкатели;

- износе поверхности паза под ось толкателя;
- износе поверхности цилиндрической части направляющих отверстий под рейку;
- износе поверхности сферической части отверстия под лыску рейки;
- износе или срыве резьбы под болты крепления крышки люка и шпильки подкачивающего насоса;
- износе или срыве резьбы под болты фланца регулятора и под шпильки головки насоса;
- износе или срыве резьбы под заливную пробку или корпус щупа;
- износе или срыве резьбы конического отверстия под сливную трубку [1].

Крышки подшипников. На многих ТНВД подшипники кулачковых валов вставляются в корпус насоса через стальные крышки. Это связано с тем, что многие корпуса ТНВД на сегодня изготавливаются из алюминиевого сплава и непосредственное расположение подшипника кулачкового вала в корпусе ТНВД из алюминиевого сплава приведет к быстрому износу посадочного места подшипника. Поэтому расположение подшипника кулачкового вала в корпусе ТНВД через стальную крышку обеспечивает жесткую конструкцию насоса и малый износ посадочного места подшипника. Соединение крышки подшипника с торцом корпуса ТНВД – фланцевое [1].

1.3 Исследование силовой кинематической цепи топливных насосов

В состав топливного насоса входят много деталей. Мы в наших исследованиях будем рассматривать взаимосвязи в кинематической цепи, состояние которых существенно влияет на эффективность работы самого ТНВД.

В основном к таким деталям и узлам относятся подвижные сопряжения в силовой схеме кинематической цепи.

Взаимодействие нижеследующих деталей в кинематической цепи оказывают следующие сопряжения:

- корпусом нагнетательного клапана и его клапаном;
- плунжером плунжерной пары и ее втулкой;
- втулкой плунжерной пары и пружиной толкателя;
- пружиной толкателя и тарелкой пружины толкателя;
- торцом плунжера и опорной поверхностью корпуса или пятой толкателя;
- корпусом толкателя и направляющими гнездами под толкатели в корпусе ТНВД;
- осью ролика толкателя и корпусом (отверстием под ось ролика) толкателя;
- осью ролика толкателя и опорной втулкой толкателя;
- опорной втулкой толкателя и роликом толкателя;
- роликом толкателя и кулачком кулачкового вала;
- кулачковым валом и подшипником кулачкового вала;
- подшипником кулачкового вала и крышкой подшипника.

Взаимодействие этих деталей во многом определяет эффективность работы топливного насоса. Взаимодействие между собой они подвергаются изменению не только геометрических размеров, в следствие абразивного изнашивания, но и происходит функциональное нарушение, которое влияет на эффективность работы топливного насоса.

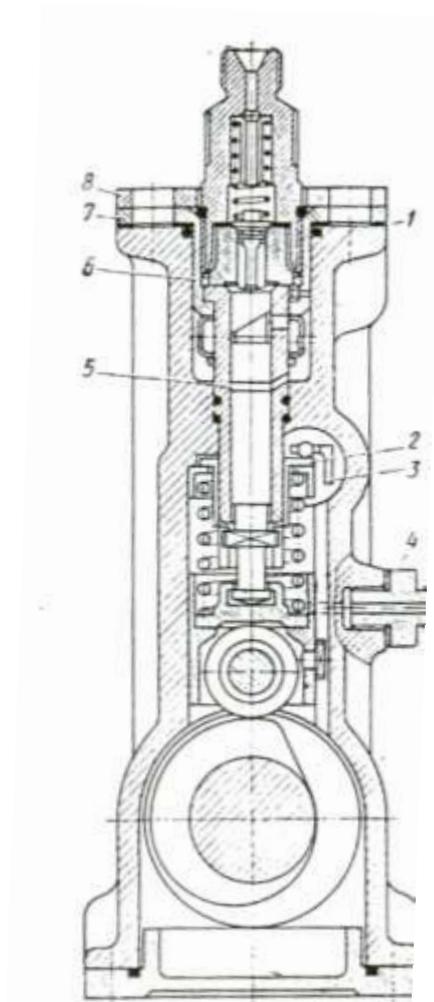


Рисунок 1.3 – Топливный насос высокого давления марки Bosch

1– набор прокладок; 2 – втулка; 3 – механизм регулировочной рейки; 4 – отверстие для подачи масла; 5 – канавка; 6 – стакан; 7 – фланец для фиксации стакана; 8 – крепеж стакана

При первом же отказе в работе ТНВД требования к сопрягаемым деталям по точности их изготовления нарушаются. Анализ показал, что это касается всех без исключения элементов кинематической цепи привода. Необходимо сказать, что, несмотря на жесткие требования к допускам элементов кинематической цепи привода, усилие кулачка кулачкового вала на плунжер передается не по его оси, а имеет некоторую радиальную составляющую, так как невозможно конструктивно обеспечить полную соосность деталей. В литературе нет сведений об исследованиях влияния радиальной составляющей усилия кулачка кулачкового вала на износ плунжерной пары. Правда, в

справочнике упоминается, что при монтаже плунжерной пары в корпус и при нагружении ее давлением необходимо свести к минимуму возможные деформации втулки, а также исключить боковые усилия, которые могут воздействовать на плунжер со стороны тарелки. Для выполнения этих условий необходимо соблюдать следующие требования:

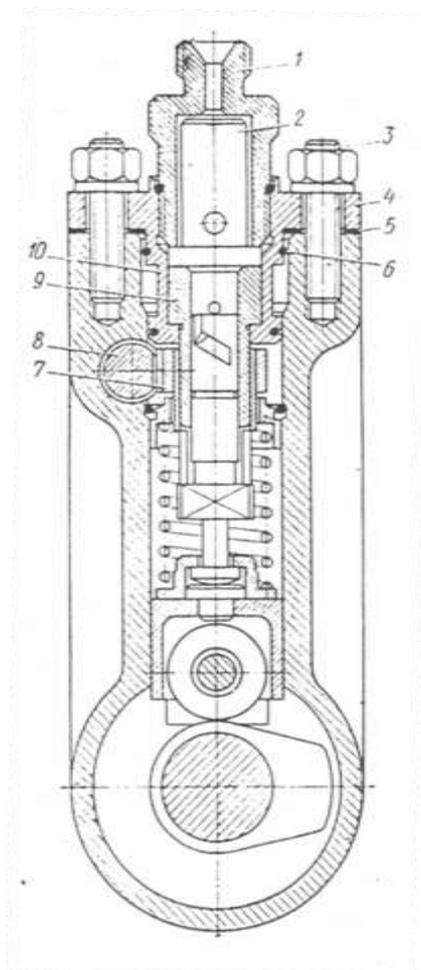


Рисунок 1.4 – Топливный насос высокого давления марки Friedmann – Maier

1 – штуцер; 2 – клапан; 3 – шпильки; 4 – фланец крепления стакана; 5 – набор прокладок; 6 – уплотнение; 7 – механизм подачи; 8 – рейка; 9 – втулка; 10 – стакан

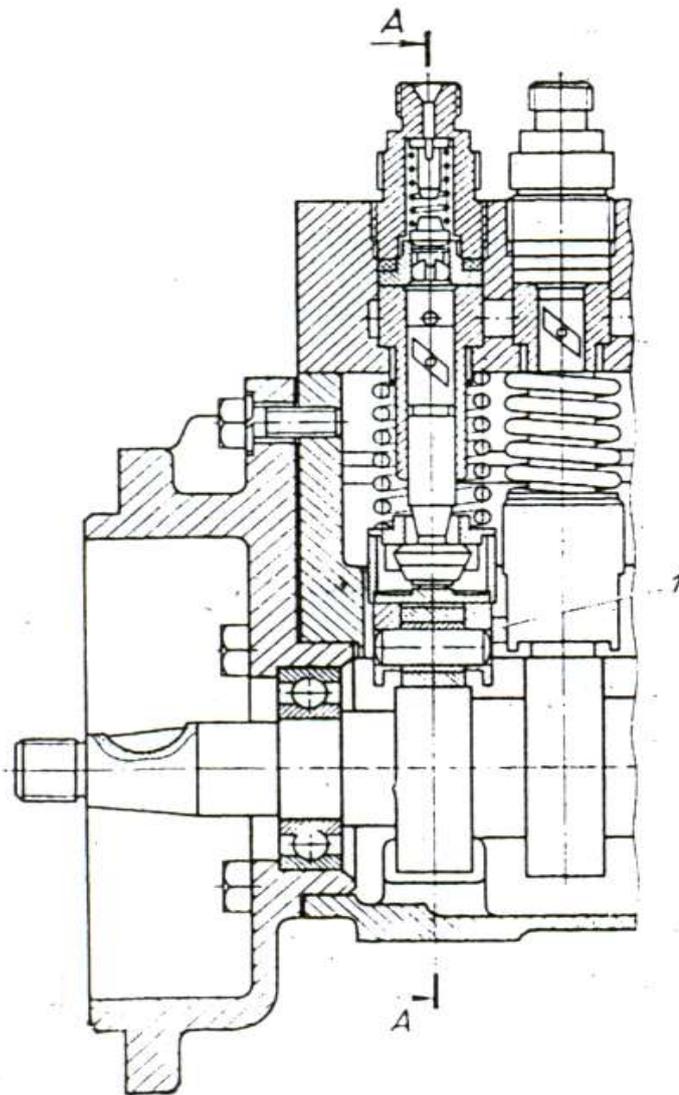


Рисунок 1.5 – Насос высокого давления Simms

1 – предохранительные пластины, обеспечивающие заданное пространственное положение толкателей

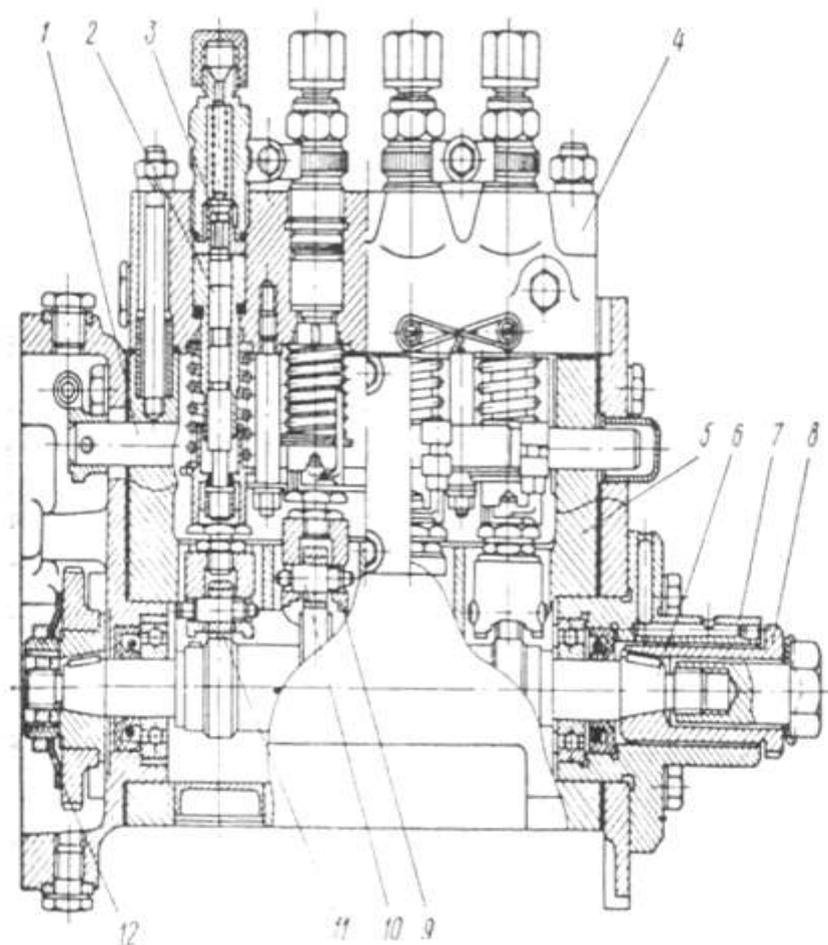


Рисунок 1.6 – ТНВД типа 4 ТН

1 – регулировочная рейка; 2 – плунжер с плунжерной втулкой; 3 – клапан давления; 4 – рабочая головка ТНВД; 5 – корпусная деталь; 6 – приводной кулачковый вал; 7 – фланец; 8 – соединительная втулка; 9 – толкатель; 10 – ось роликового механизма; 11 – ролик; 12 – пружина

Опорные поверхности втулки плунжера необходимо выполнять с малыми отклонениями от номинального пространственного положения. В соответствии с требованиями ГОСТ 9927-71 непараллельность уплотнительного и опорного торцов втулки не должна превышать на крайних точках 0,025 мм (для диаметров опорной части втулки до 45 мм); неперпендикулярность опорного торца втулки к ее направляющей поверхности не должна превышать 0,016 мм при величине биения наружной направляющей поверхности относительно ее рабочей поверхности не более 0,02 мм (0,05 мм для насосов с поворотом плунжера поводком). Жесткие требования предъявляются также к геометрическим параметрам посадочных мест в корпусе насоса. Неперпендикулярность оси резьбы к опорному торцу в гнезде корпуса не должна превышать 0,03-0,1 мм. Особое внимание следует уделять соблюдению геометрических параметров корпуса насоса, если имеет место контакт боковых поверхностей втулки плунжера с поверхностью расточки в корпусе, как в насосе НД21/4. В этом случае строго регламентируется (не более 0,05 мм) неперпендикулярность опорного торца к оси отверстия, где располагается втулка с уплотняющими резинками. В конструкции насоса следует избегать такого крепления прецизионных узлов, которое может вызывать деформации втулки плунжера при ее монтаже в корпусе насоса.

Необходимо регламентировать величину момента затяжки элементов, уплотняющих втулку. Надежное уплотнение стыка обеспечивается при удельных давлениях 20000 кгс/см².

Надо осуществлять специальные мероприятия по профилированию поперечного сечения втулки и крепежных элементов, уменьшающие искривление прецизионной поверхности.

Расчеты показывают, что при нахождении размеров деталей в пределах допусков максимальная радиальная составляющая усилия кулачка на плунжер не более 0,35% от общего усилия, тогда как реально она более 20%. Это наглядно видно по следу износа торца ремонтного плунжера. Из соот-

ношения цифр следует, что при нарушении требований к сопрягаемым деталям по точности их изготовления продолжение эксплуатации ТНВД приведет к резкому росту радиального давления на плунжер и оно фактически превысит максимально допустимое значение более чем в 50 раз! Это означает многократное увеличение интенсивности изнашивания поверхностей плунжера и отверстия гильзы в местах их контакта.

Износ прямо пропорционален удельной нагрузке. Поэтому простая замена изношенной плунжерной пары на годную будет являться самообманом и приведет к быстрому превращению ТНВД снова в ремфонд. Следовательно, при ремонте ТНВД возникает необходимость восстановления не только плунжерных пар, но и всех деталей его кинематической цепи.

В связи с вышеизложенным, были сформулированы задачи исследований:

1. Разработка устройств для комплексной электроискровой обработки высокоточных деталей ТНВД с получением поверхностей с заданной износостойкостью.
2. Разработка методики и проведения экспериментальных исследований, предложенных технологий.
3. Теоретическая обработки результатов исследований.
4. Технико-экономическое обоснование разработанных технологий восстановления деталей ТНВД.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ

2.1 Область применения электроискрового упрочнения высокоточных деталей машин

2.1.1 Технологический процесс электроискровой обработки деталей машин

При ЭИО осуществляется воздействие на металлические поверхности в газовой среде короткими (10 – 2000 мкс) электрическими разрядами с энергией от сотых долей до десятка и более джоулей и частотой до 1000 Гц. При периодическом, с определённой частотой, контакте электрода (анода) с обрабатываемым изделием (катодом) и его разрыве возникают электрические разряды, создаваемые генератором импульсов. Под действием высокой температуры в зоне разряда (5000 – 11000 °С) происходит следующее: идут процессы преимущественного разрушения материала электрода (анода) и образования вторичных структур в рабочей его части; осуществляется перенос продуктов эрозии электрода на деталь (катод); на поверхности обрабатываемого изделия протекают микрометаллургические и плазмохимические процессы; элементы материала электрода диффундируют в поверхностный слой изделия без существенного ее нагрева; поверхность изделия приобретает новый специфичный рельеф; образуется на поверхности изделия измененный слой, включающий белый слой, диффузионную зону и зону термического влияния, при этом изменяются свойства поверхностного слоя; формируется поверхностный слой мелкодисперсного состава, вплоть до наноуровня; происходит изменение размера изделия. Во вновь образованном

рельефе отсутствуют протяженные выступы клинообразной в поперечном сечении формы, образованные обработкой резанием, которые заменяют-

ся выступами ограниченной длины, по форме близкими к шаровому сегменту, обладающими высокой несущей способностью; рельеф приобретает выпукло-вогнутый характер и его параметры одинаковы во всех направлениях.

Сам процесс ЭИЛ экологически чистый и безопасный, так как осуществляется при напряжении 20 – 100 В и длительности импульсных разрядов 10^{-6} – 10^{-2} с. При этом толщина формируемых слоев из твердых сплавов составляет ~ 0,01 – 0,15 мм, а из пластичных и более легкоплавких материалов слой покрытия может достигать 0,3 – 0,5 мм. В зоне разряда электроэрозия, массоперенос материала электродов (в паровой, жидкой и твердой фазах), кристаллизация и другие явления протекают в крайне неравновесных условиях способствующих образованию структур с мелким зерном, высокой плотностью дислокаций, с особым напряженно-деформированным состоянием. Изменяя параметры и условия ЭИЛ, можно регулировать микрометаллургические и плазмохимические процессы в этой зоне, проводить направленный синтез тугоплавких и других химических соединений и формировать сложные композиционные покрытия из интерметаллидов, карбидов, нитридов, окислов, как за счет материалов электродов, так и элементов межэлектродной среды [1].

2.1.2 Область использования технологий электроискровой обработки деталей машин

Широкие пределы управляемых технологических параметров процесса ЭИО и характеристик формируемых покрытий являются основой высокой универсальности этого метода обработки, применяемого в прокатном производстве, в машиностроении при изготовлении новых деталей (упрочняющие покрытия и покрытия со специальными свойствами рабочих поверхностей прокатного инструмента, деталей машин, режущих инструментов, штамповой оснастки), а также в ремонтном производстве энергетических, добывающих и перерабатывающих, машиностроительных предприятий, предприятий легкой промышленности, агропромышленного комплекса, транспорта и дру-

гих при восстановлении изношенных деталей, утративших свои размеры в процессе эксплуатации (восстанавливающие покрытия на наружных и внутренних поверхностях деталей и инструментов). Отметим, что в зарубежных странах этот метод используется в большей мере для нанесения покрытий с эффектом упрочнения и со специальными свойствами, причем, в первую очередь, в оборонных отраслях, в т.ч. при производстве космической и авиационной техники.

При назначении технологии нанесения упрочняющих электроискровых покрытий и последующей обработки учитываются условия работы объектов упрочнения (инструментов, деталей), т.е. факторы, инициирующие изнашивание их рабочих поверхностей. Обычно эти факторы – высокие давления, температуры, большая цикличность нагружения рабочих поверхностей и др. В этих случаях при упрочнении поверхностей обычно применяются электроды из металлокерамических твердых сплавов типа ТК (Т5К10, Т15К6, Т30К4), ВК (ВК4, ВК6, ВК8), ТТК (ТТ7К12, ТТ21К10), СТИМ (СТИМ-2, -3Б, -3Б0Ан, -4, -50НА) и другие, включая содержащие нанодисперсные добавки, а также графиты мелкозернистой фракции. Результат двух- шестикратного увеличения ресурса достигается обычно покрытиями толщиной до 100 мкм. При этом особо привлекает применительно к резанию металлов факт значительного повышения эффективности упрочнения режущих инструментов при ужесточении режимов резания.

Для придания обрабатываемым поверхностям специальных свойств (жаро-, эрозионно-, коррозионная стойкость и др.) используют для ЭИО в качестве электродов токопроводящие материалы, обладающие соответствующими эксплуатационными свойствами. В частности, защищая поверхности деталей от атмосферной коррозии, используют электроды из алюминия, никеля, хрома и их сплавов, нержавеющей сталей; для снижения переходного электрического сопротивления наносят покрытия золотом, серебром, платиной и т.д.

Значителен объем использования ЭИО в технологиях восстановления изношенных деталей и при устранении брака, связанного с прослаблением размеров деталей при их изготовлении. Это чаще всего наружные и внутренние посадочные поверхности неподвижных соединений с диаметральным износом деталей до 500 мкм, а также деталей, работающих в условиях трения скольжения, с износом до 100 мкм. При восстановлении стальных деталей достаточно использования электродов из хромоникелевых сталей, а чугуновых – цветных сплавов на основе меди. Восстановление изношенных поверхностей инструментов выполняется электродами из высоколегированных и инструментальных сталей и твердых сплавов. Часто применяются многослойные покрытия, получаемые в несколько циклов обработки разными электродными материалами и обладающие при большей толщине повышенными эксплуатационными свойствами. Качественным уровнем современных ЭИ технологий для ремонтного производства является обеспечение 100%-го ресурса восстановленных деталей (поверхностей), т.е. ресурса не ниже новых. Заметным и важным достоинством ЭИО для ремонтных целей является его технологическая мобильность, т.е. возможность без демонтажа с машин локального восстановления ответственных деталей, включая крупногабаритные.

Результатом практического использования ЭИО являются определённые показатели:

1. Увеличение срока службы упрочненных деталей и инструментов на 250–400 % и более;
2. Уменьшение себестоимости и сокращение сроков ремонта агрегатов машин путем восстановления изношенных деталей взамен приобретения новых и обеспечение их ресурса на уровне нового изделия;
3. Окупаемость за три-девять месяцев капитальных затрат, связанных с приобретением новой техники (технологии и оборудование) и ее освоением;

4. Экономия природных ресурсов в связи с повторным использованием восстановленных деталей.

2.1.3 Возможность использования электроискрового упрочнения при производстве высокоточных деталей машин

Наряду с совершенствованием существующих методов обработки металлических поверхностей для улучшения или восстановления их эксплуатационных характеристик также развивается ЭИО. Это развитие идёт в нескольких направлениях.

1. Создание новых электродных материалов со специальными свойствами. В России и за рубежом создают новые электродные материалы для ЭИО и исследуют свойства покрытий, полученных с помощью этих материалов. Это касается, например, твёрдых сплавов типа «СТИМ», в том числе с добавками наночастиц (разработки НПО «Металл» при НИТУ «МИСиС»), сплавов на основе карбидов титана, вольфрама, боридов и оксида циркония (Хабаровский научный центр ДВО РАН), силицидных материалов (Институт физики твёрдого тела РАН и ФГБНУ ГОСНИТИ), твёрдых сплавов с тугоплавкими и высокотвёрдыми добавками (Институт проблем материаловедения НАНУ – Украина) и др. Использование для ЭИО новых электродных материалов способствует большему переносу легирующих элементов на обрабатываемую поверхность, улучшению качественных характеристик покрытия и увеличению ресурса упрочняемого или восстанавливаемого изделия, создавая этим новые перспективы для эффективного применения ЭИО.

2. Механизация и автоматизация процесса обработки. Это направление включает также роботизацию процесса, оно эффективно в условиях серийного и крупносерийного производства, а также при обработке ответственных деталей сложной и дорогостоящей техники, обеспечивая стабильность и качество нанесения покрытий на выбранных режимах.

Механизированное оборудование для ЭИО (установки «Элитрон-120», -122», -240», -345», -347», -349», -440», -502», -503» для обработки, соответ-

ственно, режущего инструмента осевой формы, разделительных штампов, серебрения электрических контактов, сегментных пил, деталей типа тела вращения, валков прокатных станков, плоских поверхностей форм производства силикатного кирпича, фильер, штампов горячей штамповки с осесимметричной гравюрой и другие) применялось в СССР в различных отраслях, в т.ч. в машиностроении и ремонтном производстве. В настоящее время, наряду с совершенствованием генераторов искровых импульсов и электрод-инструментов, это направление интенсивно развивается в промышленно развитых странах, например, фирмой «ASAP» – США.

3. Применение многоконтурной обработки. Этот технический прием связан с механизацией ЭИО, подразумевает одновременную обработку одной единицей оборудования нескольких участков одного или нескольких изделий. Применение такого приёма направлено на увеличение производительности обработки. Обычно обработка всеми контурами ведётся по одной технологии, т.е. на одних и тех же электрических режимах. Примером служит установка «Элитрон-440», созданная в начале 1990-х гг. Опытным заводом Института прикладной физики Академии наук Молдавии для упрочнения плит прессформы производства силикатного кирпича. Эта установка обеспечивала возможность одновременной работы восьми контуров, т.е. восьми электрод-инструментов, по параллельной обработке двух плит, с соответствующим увеличением производительности обработки.

4. Создание комбинированных покрытий совмещением ЭИО с другими методами обработки. Резервы эффективности ЭИ технологий связаны также с совместным использованием ЭИО и других методов обработки. Так, ЭИО с поверхностно-пластическим деформированием улучшает качество поверхности и преобразовывает растягивающие напряжения в поверхностном слое на сжимающие. Совмещение ЭИО с детонационным напылением, лазерной, ультразвуковой, плазменной и другими видами обработки улучшает качественные параметры покрытий, позволяет решать технические проблемы более эффективно. Интерес представляют также успешно применяемые ГОСНИТИ

технологии восстановления изношенных деталей, включающие ЭИО и холодное газодинамическое напыление или ЭИО и металлополимерные покрытия. При таком совмещении методов на деталях получают покрытия значительной толщины с высокой несущей способностью и контактной сплошностью. Обычно их применяют для восстановления сильно изношенных посадочных поверхностей неподвижных соединений.

Широкое и эффективное использование на производстве ЭИ метода обработки металлических материалов подтверждает сказанные еще в 1947 г. слова Б.Р. Лазаренко, открывшего миру для практического применения электрическую искру: «Многовековое царствование механического способа обработки металлов, перевернувшего мир в прошлых столетиях, – кончается. Его место занимает, несомненно, более высокоорганизованный процесс, когда обработка металла производится электрическими силами... Ему будет принадлежать будущее, и притом – ближайшее будущее».

2.2 Разработка установки для электроискрового упрочнения

В Казанском аграрном университете совместно с ГОСНИТИ была разработана технология по электроискровому поверхностному упрочнению деталей сельскохозяйственных машин и режущих инструментов, используемых в перерабатывающей промышленности и машиностроении.

Принцип действия данной технологии заключается в применении плазменных импульсных искровых разрядов в воздушной среде при периодическом соприкосновении электрода с восстанавливаемой деталью или изделием, вследствие чего осуществляется перенос и осаждение упрочняющего материала электрода на поверхность восстанавливаемой детали или изделия.

В процессе комплексного электроискрового упрочнения высокоточных деталей топливных насосов используют различные марки электродов. Как правило эти электроды на основе титана или электроды на основе вольфрама.

Также в состав этих электродов входят материалы с составом различной степени концентрации карбидов и боридов различных металлов.

Основными преимуществами комплексного упрочнения высокоточных деталей топливной аппаратуры является:

- локальное формирование упрочняющего слоя, размеры которого могут быть всего несколько мм, при этом соседние поверхности могут вообще не подвергаться воздействию;

- высокое взаимопроникновение легирующего металла электрода в поверхности детали;

- фактическое отсутствие термического воздействия в зоне комплексной искровой обработки;

- отсутствие деформации и изменения размеров упрочняемых деталей ТНВД;

- процесс электроискрового упрочнения при восстановлении деталей позволяет получить высокий размер, что позволяет свести к минимуму последующую механическую обработку;

- установка комплексного искрового упрочнения имеет небольшие габаритные размеры и вес, что позволяет использовать ее как переносную для проведения работ, непосредственно в хозяйствах;

- минимальное потребление электроэнергии;

- возможность значительного насыщения рабочей поверхности детали материалом электродом.

Технические характеристики оборудования:

Масса установки – 3,5 кг, размеры - 210x160x140 мм, энергопотребление - 0,15кВА, 220В, затраты электродного материала – 850 см² на обработанной поверхности одним электродом, глубина диффузии (упрочненного слоя) - до 60 мкм и Подъем поверхности до 20 мкм. Общий слой - 80мкм.

Установка ЭИУ-1 предназначена для восстановления и упрочнения деталей техники и режущего инструмента широкого использования.

Электроискровое упрочнение может быть успешно применимо в следующих областях:

- Для упрочнения при изготовлении и восстановлении высокоточных деталей топливной аппаратуры;
- Для упрочнения ножей и противорежущих платин кормоуборочных комбайнов;
- Для упрочнения ножей зерноуборочных комбайнов;
- Для упрочнения ножей оборудования, перерабатывающих предприятий;
- Для упрочнения режущей рабочей зоны металлорежущих инструментов;
- Для упрочнения внутренних поверхностей пресс-форм для литья;
- Для повышения ресурса шеек валов посадочных мест под подшипники золотников гидросистем толкающих роликов.

На рисунке 2.1 представлен общий вид устройства для электроискрового упрочнения деталей машин



Рисунок 2.1 - Общий вид устройства для электроискрового упрочнения деталей машин

Управление аппаратом электроискрового упрочнения:

- закрепить упрочняемую деталь в приспособлении типа тисков и подсоединить его к шлангу «Заземление»;
- закрепить в вибраторе электрод;
- включение аппарата в сеть 220В;
- подать напряжение нажатием кнопки на панели «сеть»;
- включить соответствующими кнопками емкость конденсаторов в зависимости от технологической задачи на 20, 20+20, 20+20+20 мкф.

При упрочнении лезвий режущего инструмента различного назначения с целью предупреждения прожогов использовать энергию токового разряда от конденсаторных батарей на 20 или 40, или 60 мкф.

Упрочнение деталей твердосплавным или графитовым электродом:

- очистить упрочняемую поверхность от загрязнений;
- упрочнение режущих деталей производится после их заточки;
- деталь закрепить на медной пластине толщиной 10-20 мм для теплоотвода;
- процесс упрочнения начинается при легком соприкосновении вибрирующего электрода с поверхностью лезвия детали со стороны заточки;
- упрочнение осуществляется вращательным движением электрода по поверхности лезвия, начиная с его края; скорость оборота вращения электрода 3-5 сек, линейного перемещения с перекрытием 10-20 мм/мин;
- упрочнение выполняется в два этапа: нанесение упрочненного слоя 80-150 мкм и его выравнивание также круговыми движениями электрода со скоростью в два раза выше скорости нанесения слоя;
- графитовые электроды используются для упрочнения совместно с нанесением слоя пасты, состоящей из матричного порошка ПГ10Н-01 - 40%, карбида бора (B₄C) или карбида вольфрама (WC) - 40%, криолита (Na₃AlF₆) - 10% , карбамида (NH₂C) - 10%, связующее - 25% водный раствор жидкого стекла (Na₂SiO₄) или жидкий крахмальный клейстер; перед расплавлением

слоя пасты ее высушивают до полного отверждения, толщина слоя пасты 0,5-1,0 мм; упрочнение одним слоем пасты, или поочередно двумя.

Восстановление изношенных пар трения. Операции восстановления деталей электроискровым методом выполняются при износах в пределах 20-300 мкм. Применение стальных углеродистых или высокотвердых электродов позволяет компенсировать износ 20-150 мкм. Использование графитовых электродов с пастами позволяет восстанавливать детали с износом до 300 мкм. При этом используются следующие пасты:

порошок стальной ПГ10Н-01 - 60%, карбид бора (B₄C) -20%), криолит (Na₃AlF₆) - 6%, нитрит натрия (NaN₃) - 6%, хром- 6%, алюминий (Al) - 2%. Связующее - 25% водный раствор жидкого стекла, или жидкий крахмальный клейстер. Перед наплавкой слой пасты высушить. Наплавку вести при токовой энергии разряда - 60 мкф.

2.3. Технические характеристики для электроискровой обработки деталей машин

Назначение

Установка «ЭИУ-1» (в дальнейшем - установка), предназначена для повышения износостойкости металлорежущего инструмента и технологической оснастки.

Разработанная установка может эксплуатироваться как в помещениях, так и под открытым воздухом. Для питания установки необходимо бытовая розетка.

Технические параметры установки искрового упрочнения:

- | | |
|--|-----------------|
| – тип | – переносная; |
| – энергопотребление | – 220 В, 50 Гц; |
| – мощность | – 150 Вт |
| – напряжение в зоне электрода | – 60 В |
| – напряжение переменного тока на катушке вибратора | – 42 В; |

- общая емкость накопительных конденсаторов - 160 мкФ;
- частота вибрации вибратора - 100 Гц;
- габариты установки – 210x160x140 мм;
- масса – 3 кг;
- условия эксплуатации по температурным режимам – -15 до +45° С.

На рисунке 2.2 показана электрическая схема электроискровой установки.

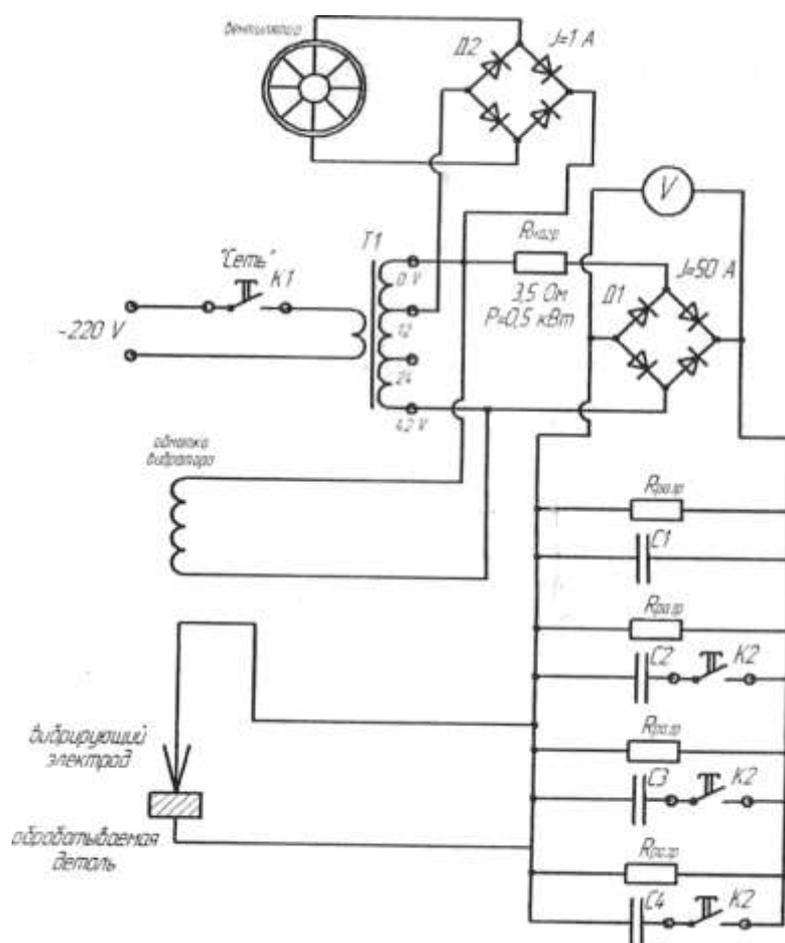


Рисунок 2.2. Электрическая схема электроискровой установки.

Принцип работы установки основан на периодическом заряде конденсаторов и их разряде при колебании вибрирующего электрода на обрабатываемую поверхность детали.

Плазменные импульсы искровых разрядов осуществляют перенос и осаждение электрода на поверхность изделия. Упрочнение инструмента осуществляется после заточки и доводки. В качестве электродов применяют твердые сплавы (Т15К6, В Кб и др.).

Подготовка установки и порядок работы

Поставить генератор на рабочее место

Подсоединить вибратор к генератору на зажим пульта управления «земля» к Восстанавливаемой (обрабатываемой) детали

Подключить генератор к сети питания 220В

Выбрать нужный(подходящий) режим путем изменения набора конденсаторов

Обработать деталь

Обесточить оборудование и снять напряжение с конденсаторов.

Правила безопасности эксплуатации установки на производстве и в условиях ремонтных мастерских:

- На установке могут работать лица прошедшие инструктаж по технике безопасности, а также прошедшие обучение по работе на комплексной электроискровой установке и сдавшие экзамены на проведение сварочно-упрочняющих работ.

- Эксплуатация данной установки допускается только при использовании специальных средств защиты глаз в соответствии со стандартом, звукопоглощающих берушах, в специальных рукавицах.

- Продолжительность упрочнения с вибратором не должно превышать более 50 минут в течение часа.

- Смена электрода необходимо проводить только при отключении установки от силовой сети.

- В процессе работы на установке необходимо соблюдать требования (ПТЭ и ПТБ), соблюдая при этом прописанные требования стандарта проведения сварочных работ.

- Шумовая и вибрационная нагрузка в процессе эксплуатации установки, не должны превышать значений указанных в ГОСТ 12.1.003.

- Помещение для выполнения работ должно соответствовать Стандартам санитарным норм. Электроискровое оборудование, которое подключено к сетевым напряжением, обязательно должно быть подключено к системе заземления. Провод, который осуществляет заземление в сечении должен быть более 8 мм² в соответствии с требованиями стандарта.

- Работая на установке комплексного искрового упрочнения необходимо выполнять все требования, которые предъявляются стандартом УК проведению электросварочных работ.

- Подключение электроискровой установки осуществляется в однофазную питающую сеть напряжением 220В.

- На установке нельзя работать без изолирующих силовую часть крышек.

- Работать на установке можно только в стационарном состоянии. При включенной установке перемещать ее запрещается.

- Место работы электроискровой установки обязательно должно оснащено принудительной вентиляцией.

Техническое обслуживание

- Ежедневное техническое обслуживание должно выполняться специалистом, работающим на установке. После выполнения работ необходимо произвести визуальный осмотр генератора, вибратора целостности проводки.

- Ежегодное техническое обслуживание должно выполняться специалистом, ответственным за установку. Обслуживание выполняется в следующей последовательности:

- обесточить (отключить) установку
- снять кожух с генератора;
- осмотреть детали проверить целостность проводки, проверить исправность и состояние контактов(наличие оплавления и окисей) по возможности устранить обнаруженные неисправности;

- собрать установку, проверить исправность установки на разных режимах эксплуатации.

Качественное техническое обслуживание установки для комплексного упрочнения высокоточных деталей машин позволит обеспечить заданный ресурс работы переносной установки в соответствии с техническим регламентом.

В случае отказов, возникших в процессе эксплуатации, установку необходимо ремонтировать в специализированных предприятиях или на предприятии производителя.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Используемое оборудование для проведения сравнительных лабораторных исследований упрочненных образцов

В задачу методики экспериментальных исследований входит провести сравнительные характеристики по физико-механическим свойствам образцов упрочняющих покрытий, такие как покрытия из хрома, покрытия из никеля в сравнении с экспериментальными комплексными электроискровыми упрочнением по вновь предложенной технологии.

Сравнительные испытания для определения износостойкости, твердости, ударной вязкости проводились на специальном оборудовании кафедры Эксплуатации и ремонта машин Казанского ГАУ.

Так как оценку вышеперечисленных характеристик физико-механических свойств детали не возможно проводить на самих деталях для этих целей были изготовлены специальные пластины из углеродистой стали ШХ-15 размером 40х20 мм.

Количество пластин составляло 20 штук. Перед нанесением упрочняющих покрытий поверхности пластин тщательно обрабатывались, удалялись все возможные загрязнения и создавалась шероховатость порядка 10 класса точности. Все пластины были разбиты на группы по 4 пластины в каждой.

На эти экспериментальные пластины на заранее подготовленные поверхности были нанесены упрочняющие покрытия в виде электролитического хрома, химического никеля и пластины упрочненной по комплексной технологии электроискровой обработки.

Одна из пластин оставалась не обработанной. Его характеристики рассматривались как контрольный образец для более адекватного сравнения. Толщина никелевого покрытия и соответственно хромового покрытия со-

ставляли порядка 25 мм. Пластины с никелевым покрытием в последствии подвергались термозакалке для повышения твердости покрытия.

При искровом упрочнении толщина над поверхностью. Пластины составляла 4-5 мкм и в глубину 1-1,5 мм.

Одна из главных характеристик упрочненного покрытия является твердость. Для измерения твердости контрольных образцов был использован прибор ТК-2М.

На рисунке 3.1. приведен общий вид этого прибора.



а



б

Рисунок 3.1 – Фотографии общего вида прибора ТК-2М (а) и зоны замера (б)

Этот прибор применяется для измерения твердости различных металлических сплавов и упрочненных поверхностей. Оценка твердости при работе с этим прибором определяется путем вдавливания с дозированным усилием закаленного твердосплавного шарика или специального алмазного конуса в контролируемую поверхность.

Это вдавливание осуществляется определенное время, по истечении которого анализируется автоматически характеристика вдавливаемого следа и на стрелочном индикаторе показывается значение твердости различных единиц.

Измерение твердости образцов покрытых хромом и никелем показали твердость в рамках от HRC58 до HRC60. Твердость образцов упрочненных комплексной искровой технологии менялась в довольно широких диапазонах от HRC59 до HRC70 в зависимости от режимов искровой обработки, а также материала электрода.

Определение износостойкости лабораторных образцов с экспериментальными покрытиями осуществлялось на специализированной машине трения марки 77МТ-1. В этой машине опытные упрочненные образцы подвергались сухому трению на специальных корундовых брусках различной зернистостью.

Усилие прижатия брусков контрольному образцу осуществлялось при помощи специальных гирь навешанных на прижимной рычаг. Корундовые бруски закрепленные в держателе совершали возвратно-поступательные движения, приводимые эксцентриковым механизмом.

Величина износа по результатам обработки на машине трения определялась либо путем взвешивании до и после обработки с определением потерянной массы. Либо путем линейных измерений толщины контрольного образца также до и после обработки на машине трения.

На рисунке 3.2 приведена схема машины трения 77МТ-1.

Производственные характеристики машины трения

| | |
|---|--------------|
| Частота вращения приводного электродвигателя | 28-280 мин-1 |
| Величина перемещения образца..... | 52 мм |
| Дозируемое давление на испытываемые образцы... | 50-750 Н |
| Возможные количественные характеристики массы давления на образцы | |
| | -1 кг-3 шт. |
| | -2 кг-2 шт. |
| | -5 кг-1 шт. |
| Погрешность привода | ± 3 % |
| Погрешность интенсивности изнашивания | ± 30 % |
| Мощность установки | 1,3 кВт |

Силовое напряжение 380 В, 50 Гц

Габариты установки:

длина..... 910 мм

ширина..... 410 мм

высота..... 860 мм

Вес установки 190 кг

Машина трения работает следующим образом. На входной вал редуктора (4) (Рисунок 3.2) насажен эксцентрик кривошипно-шатунного механизма. Шатун (6) приводит в возвратно-поступательное движение ползун (7), на тележке которого закреплена подвижная тарелка с износным инструментом (11). Испытуемый образец (10) винтами закрепляется в нижней части стакана (9). В нашем случае испытываемые образцы плоские. Поэтому их крепление к стакану (9) произвели через специальную оснастку.

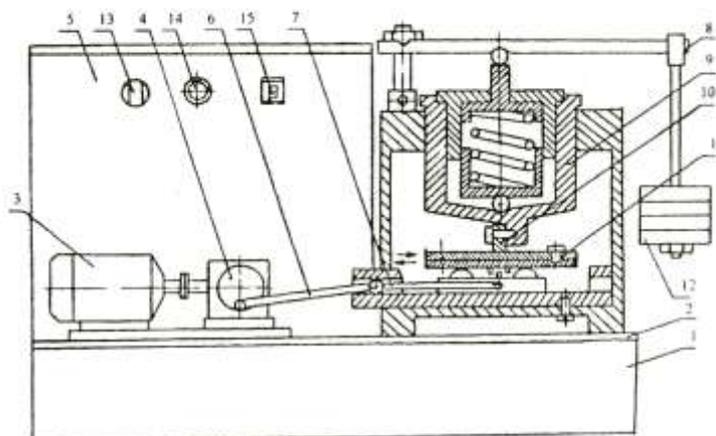


Рисунок 3.2 – Схема машины трения 77MT-1

1-основание; 2-станина; 3-двигатель постоянного тока; 4-редуктор; 5-панель управления; 6-шатун; 7-ползун; 8-рычаг; 9-стакан; 10-истираемый (испытываемый) образец; 11-подвижная тарелка с износным инструментом (нижний образец); 12-навеска с гирями; 13-регулятор скорости движения подвижной тарелки; 14-индикатор напряжения сети; 15-сетевой выключатель

Усилие прижатия абразивных брусков к контрольному образцу

$$F = G_{ст} + 2,5G_{рыч} + 5G_{г}, \quad (3.1)$$

где $G_{ст}$ – масса стакана, Н; $G_{рыч}$ – масса рычага, Н; $G_{г}$ – общая масса навески с гирями, Н.

В наших исследованиях величину износа мы определяем по потере массы испытуемых образцов. При этом мы определяем скорость изнашивания и интенсивность изнашивания контролируемых образцов упрочненных по различным технологиям.

Для выявления интенсивности изнашивания была использована ниже-следующая формула

$$J_m = \frac{h}{l}, \text{ мг/м}, \quad (3.2)$$

где h – потери по весу образца, мг; l – расстояние, которое прошел образец, м.

Значение износа контролируемых образцов по массе определяли как разность веса образца до и после испытания на специальных электронных весах.

Важным показателем для определения физико-механических свойств поверхности является скорость изнашивания. Этот показатель очень важно знать при работе высокоточных деталей ТНВД. Он определяется по следующей формуле:

$$i_m = \frac{h}{t}, \text{ мг/ч}, \quad (3.3)$$

где t – время испытания, ч.

В экспериментах нагрузку на образцы подобрали таким образом, чтобы линейный износ (толщина изношенного слоя) основы натурального образца составлял примерно 0,5 мкм за 1 мин. Износительный путь за счет частоты двойных ходов тележки выбрали 1 м за 1 мин. На рисунке 3.3 приведены фотографии машины трения 77МТ-1, его узлов и испытанных образцов. Измерения масс образцов до и после испытаний производили на аттестованных лабораторных весах модели ВЛР-200 г ОАО «Чистопольский элеватор». Весы лабораторные равноплечие 2-го класса модели ВЛР-200 г предназначены для точного

определения массы вещества при проведении лабораторных анализов в различных отраслях народного хозяйства.

На рисунке 3.3 показан общий вид машины трения, которая использовалась при проведении лабораторных исследований упрочненных образцов.



а – общий вид машины



б – узел трения



а – общий вид машины

с – стакан с прикрепленным образцом



б – узел трения

д – образцы после испытаний

Рисунок 3.3 – Фотографии машины трения 77MT-1, ее узлов и испытанных образцов

На точность измерения износостойкости существенное влияние оказывает точность измерения массы контрольных образцов до и после обработки их на машине трения.

В нашем случае использовались специальные лабораторные весы 2 класса марки ВЛР-200. Эти весы универсальные и они используются в раз-

личных отраслях народного хозяйства, где необходимо осуществить точные измерения весовых характеристик.

Точность измерения этих весов определяется в граммах до 2 знаков после запятой.

На рисунке 3.4 приведена фотография процесса предварительного замера весов образцов на таких весах.

Замер весов образцов на весах ВЛР-200 г (Рисунок 3.5) производится согласно инструкции по работе на этих весах. Замер весов образцов происходит следующим образом: в изолированном положении весов помещают взвешиваемый груз на левую чашку весов и уравнивают его накладными гирями из набора Г-2-210 и встроенными гирями, навешивая их специальной ручкой на правое плечо коромысла. Гири подбирают в соответствии с предварительным весом груза, определенным с помощью весов ВЛР-1. Ручкой в нижней части прибора вводят весы в рабочее положение. При этом появляется изображение шкалы на экране. Вращением ручки делительного устройства прибора устанавливают ближайшую цифру шкалы на середине указателя. Снимают показания прибора.

Точность определения весовых характеристик испытуемых образцов зависит не только от правильности настройки и исправности весов, но и от квалификации лаборантского персонала.

Контроль весовых характеристик весовых весов определялся с пятикратной повторностью. Затем выявлялось среднее значение весовых характеристик и заносилось в журнал испытания.

Технические данные весов ВЛР-200 г :

- максимальный контролируемый вес, г..... 200
- цена деления контрольной шкалы, мг..... 1
- интервал отсчета, мг..... 0,05
- диапазон взвешивания по шкале, мг..... от 0 до 100
- погрешность контроля, мг..... ± 0,15
- питающее напряжение, В..... 220

| | | |
|----------------------------------|-------|-----|
| • мощность, Вт | | 17 |
| • габариты, мм: | | |
| длина..... | | 405 |
| ширина..... | | 310 |
| высота..... | | 445 |
| • масса весов, кг, не более..... | | 12 |

Порядок работы с весами марки ВЛР-200 приведен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Фотография процесса предварительного замера весов образцов на весах модели ВЛР-1

Работа на высокоточных весах регламентируется техническими условиями на измерения.

В этих технических условиях строго прописывается температура окружающего воздуха при взвешивании, величина влажности окружающего воздуха, скорость движения воздуха.

Также в процессе взвешивания контроль по массе осуществляется в пятикратной повторности с последующим определением среднего значения.

Это определенное значение веса образцов используется в дальнейших расчетах для определения износостойкости и скорости изнашивания этих образцов.



Рисунок 3.5 – Фотография весов модели ВЛР-200 г

Вначале записывают вес накладных гирь, например, 54 г. Затем снимают отсчеты по лимбу гиревого механизма, после – по шкале и напоследок – по диску делительного устройства. Данные замеров для одного из образцов видны на фотографии экрана, приведенной на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Фотография экрана весов ВЛР-200 г с данными для одного из образцов

3.2. Результаты лабораторных исследований натуральных образцов с упрочняющими покрытиями

Каждая группа исследованных натуральных образцов состояла из пяти пластин, изготовленных из стали ШХ-15 и обработанных до 11-го класса шероховатости. На пластины 3-х групп наносили покрытия из блестящего твердого хрома толщиной 15 мкм, химического никеля с термообработкой толщиной 30 мкм и искровое упрочнение толщиной 3 мкм с подслоем из химического никеля с термообработкой толщиной 30 мкм. Твердость пластин из стали ШХ-15 и покрытий из хрома и химического никеля с термообработкой составляла HRC 58. Микротвердость образцов после искрового упрочнения из-за малости толщины не измеряли. По литературным данным, микротвердость искрового упрочнения находится в пределах от 20 до 40 ГПа. В экспериментах линейный износ (толщина изношенного слоя) основы натурального образца составлял примерно 0,5 мкм за 1 мин. Износительный путь для образца выбрали 1 м за 1 мин.

Полученные данные лабораторных исследований натуральных образцов с покрытиями на их износостойкость представлены в таблице 3.1. Усредненную величину износа определяли как среднеарифметическую величину износа по массе 5-ти образцов каждой группы. Величину износа по массе находили как разность масс образца до и после испытания.

Строим графики зависимостей потери массы натуральных образцов с покрытиями и без покрытия от длительности износа (Рисунок 3.7). Используя формулы строим также, графики зависимостей скорости и интенсивности изнашивания образцов без покрытия и с покрытиями из блестящего твердого хрома, химического никеля с термообработкой и искрового упрочнения от продолжительности испытаний и износительного пути соответственно. Анализ графиков рисунка показывает, что потеря массы находится в прямо пропорциональной зависимости от длительности износа, а скорость и интенсивность изнашивания натуральных образцов от продолжительности испытаний и изно-

сового пути соответственно являются постоянными. Эти параметры зависят от твердости и находятся в обратной пропорциональности от нее. Износостойкости закаленной стали ШХ-15 с твердостью HRC 58 и покрытия из химического никеля с термообработкой при 400°C в течение 10 мин находятся на одном уровне.

Износостойкость покрытия из блестящего твердого хрома в 1,2 раза выше износостойкости закаленной стали ШХ-15, а искрового упрочнения - в 2,4 раза.

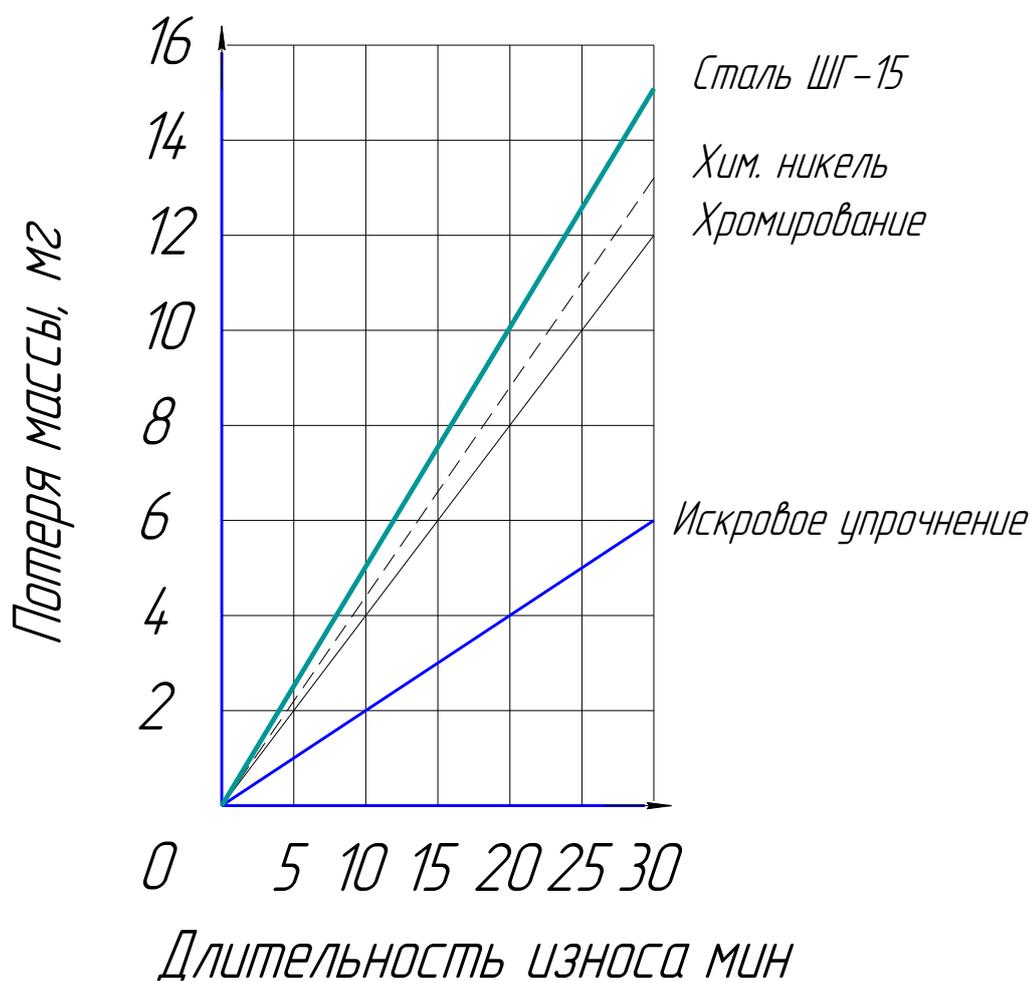


Рисунок 3.7 – Графики зависимостей потери массы натуральных образцов с покрытиями и без покрытия от длительности износа

И в-третьих, износ прямо пропорционален удельной нагрузке. Со временем эксплуатации ТНВД радиальное допустимое значение давления на плунжер возрастает в несколько десятков раз. Следовательно, характер кри-

вых скорости и интенсивности изнашивания деталей плунжерных пар ТНВД станет еще круче.

3.3 Исследования лабораторных образцов упрочненных по комплексной технологии на морфологию

Исследования образцов на металлографию позволяет получить полную картину по составу легирующих элементов, как на самой поверхности образца, так и на глубину проникновения этих легирующих элементов.

На рисунке 3.8 приведены микрофотографии поверхности образца поверхности, снятых методом СЭМ при различных увеличениях и режимах (SE) или QBSD. Наблюдается развитая поверхность, обусловленная проведенной обработкой.

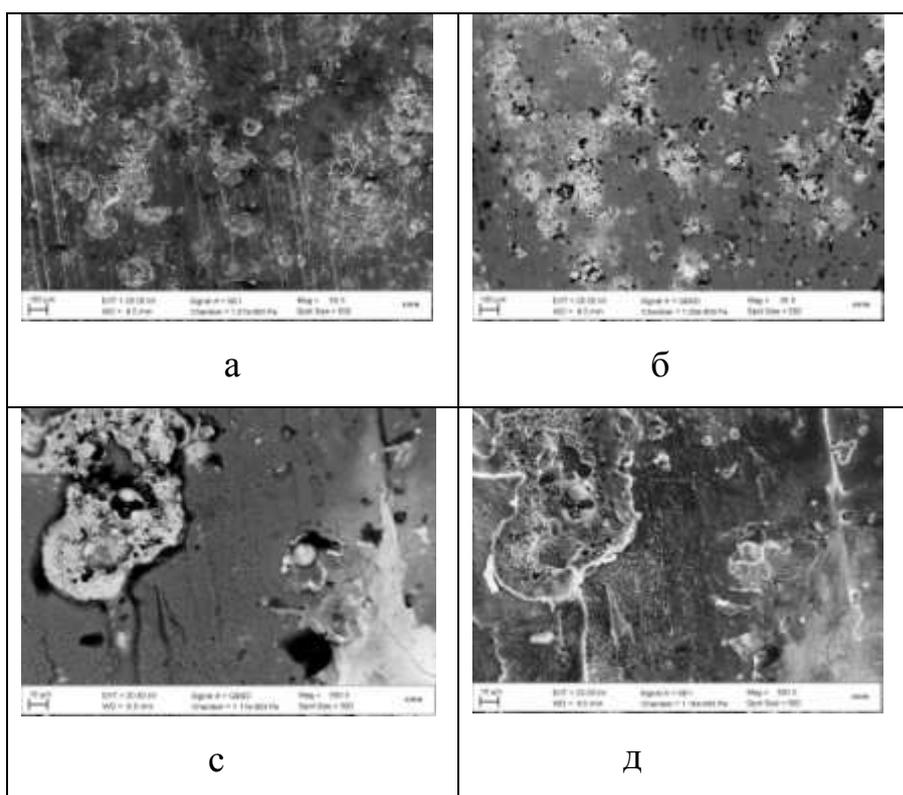


Рисунок 3.8- Поверхность испытуемого образца

На следующих рисунках приведены данные элементного анализа. Квадратами указаны участки, с которых проводился анализ элементного состава.

Обработка спектра : Пиков не пропущено
 Параметры обработки : Все элементы
 (Нормализован)

Количество итераций = 3

Эталон :

C CaCO3 1-июн-1999 12:00 AM

O SiO2 1-июн-1999 12:00 AM

Na Albite 1-июн-1999 12:00 AM

Cl KCl 1-июн-1999 12:00 AM

V V 1-июн-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-июн-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-июн-1999 12:00 AM

Co Co 1-июн-1999 12:00 AM

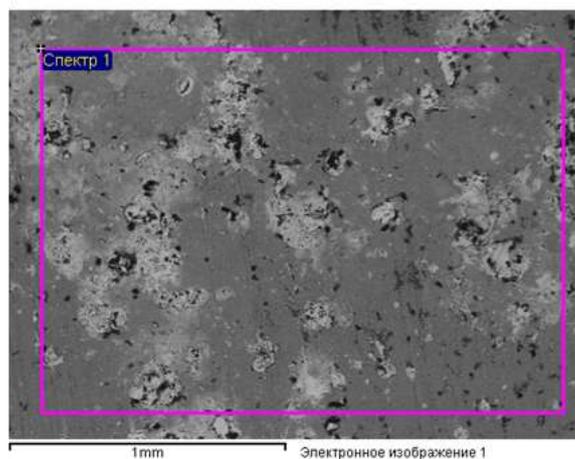
Sn Sn 1-июн-1999 12:00 AM

W W 1-июн-1999 12:00 AM

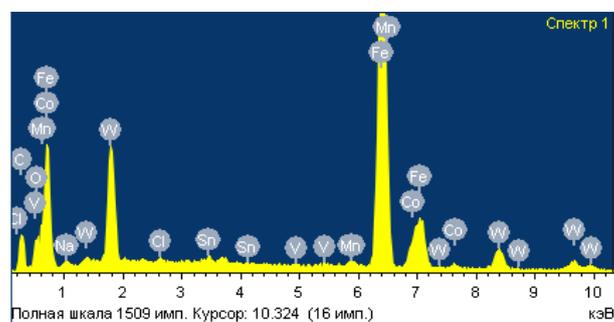
| Элемент | Весовой % | Атомный% |
|---------|-----------|----------|
| C K | 12.55 | 40.01 |
| O K | 4.77 | 11.41 |
| Na K | 0.45 | 0.75 |
| Cl K | 0.26 | 0.29 |
| V K | 0.17 | 0.13 |
| Mn K | 0.58 | 0.41 |
| Fe K | 58.14 | 39.87 |
| Co K | 4.92 | 3.20 |
| Sn L | 1.32 | 0.42 |
| W M | 16.83 | 3.51 |

Итого 100.00

Комментарий: 20 kV, BSE, HV



А



Б

Рисунок 3.9- Элементный состав образца 2 после обработки

Обработка спектра : Пиков не пропущено
 Параметры обработки : Все элементы
 (Нормализован)
 Количество итераций = 3

Эталон :
 C CaCO3 1-июн-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-июн-1999 12:00 AM
 Mn Mn 1-июн-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-июн-1999 12:00 AM
 Zn Zn 1-июн-1999 12:00 AM
 Sn Sn 1-июн-1999 12:00 AM
 W W 1-июн-1999 12:00 AM

| Элемент | Весовой % | Атомный% |
|-----------------------------|-----------|----------|
| C K | 8.16 | 27.56 |
| O K | 4.03 | 10.22 |
| Mn K | 1.13 | 0.83 |
| Fe K | 82.29 | 59.74 |
| Zn K | 1.27 | 0.79 |
| Sn L | 1.41 | 0.48 |
| W M | 1.70 | 0.38 |
| Итого 100.00 | | |
| Комментарий: 20 kV, BSE, HV | | |

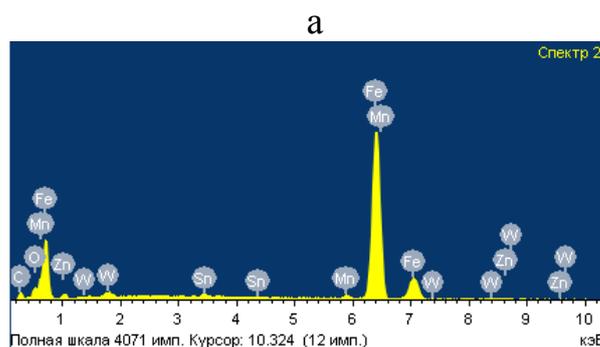
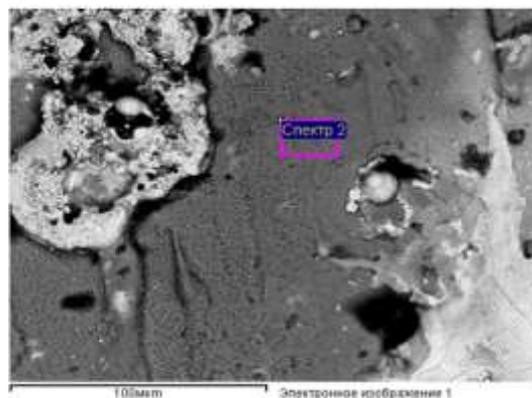


Рисунок 3.10- Элементный состав образца 2 после обработки

Обработка спектра : Пиков не пропущено
 Параметры обработки : Все элементы
 (Нормализован)
 Количество итераций = 3

Эталон :
 C CaCO3 1-июн-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-июн-1999 12:00 AM
 V V 1-июн-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-июн-1999 12:00 AM
 Co Co 1-июн-1999 12:00 AM
 Sn Sn 1-июн-1999 12:00 AM
 W W 1-июн-1999 12:00 AM

| Элемент | Весовой % | Атомный% |
|-----------------------------|-----------|----------|
| C K | 6.96 | 37.30 |
| O K | 2.91 | 11.71 |
| V K | 0.37 | 0.47 |
| Fe K | 16.47 | 18.98 |
| Co K | 7.55 | 8.24 |
| Sn L | 1.54 | 0.84 |
| W M | 64.20 | 22.47 |
| Итого 100.00 | | |
| Комментарий: 20 kV, BSE, HV | | |

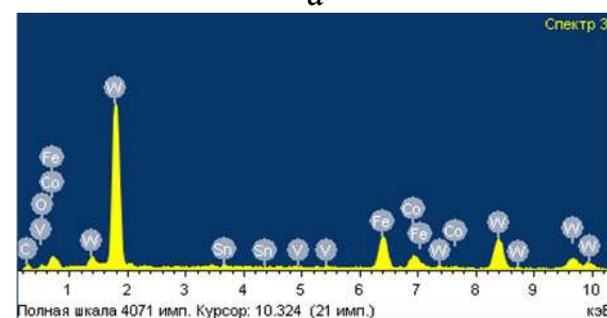
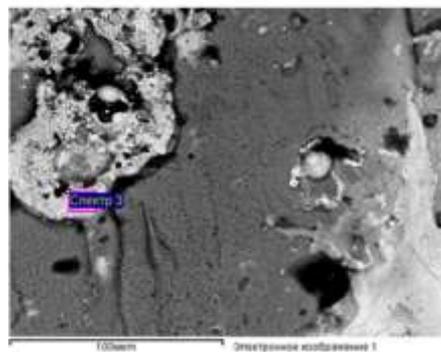


Рисунок 3.11- Элементный состав образца 2 после обработки

На рисунке 3.9 представлен спектр от относительно большой площади образца. В отличие от исходного образца присутствуют в заметных количествах кобальт и вольфрам.

На рисунке 3.10 представлены результаты локальных измерений элементного состава. Видно, что в выделенной области присутствуют только углерод, кислород и железо. Данная область образца не подверглась обработке.

Наконец, на рисунке 3.11 приведены измерения элементного состава области, которая подверглась локальной обработке. Основными компонентами данной области являются вольфрам и кобальт, содержание которых даже превышает атомную концентрацию железа.

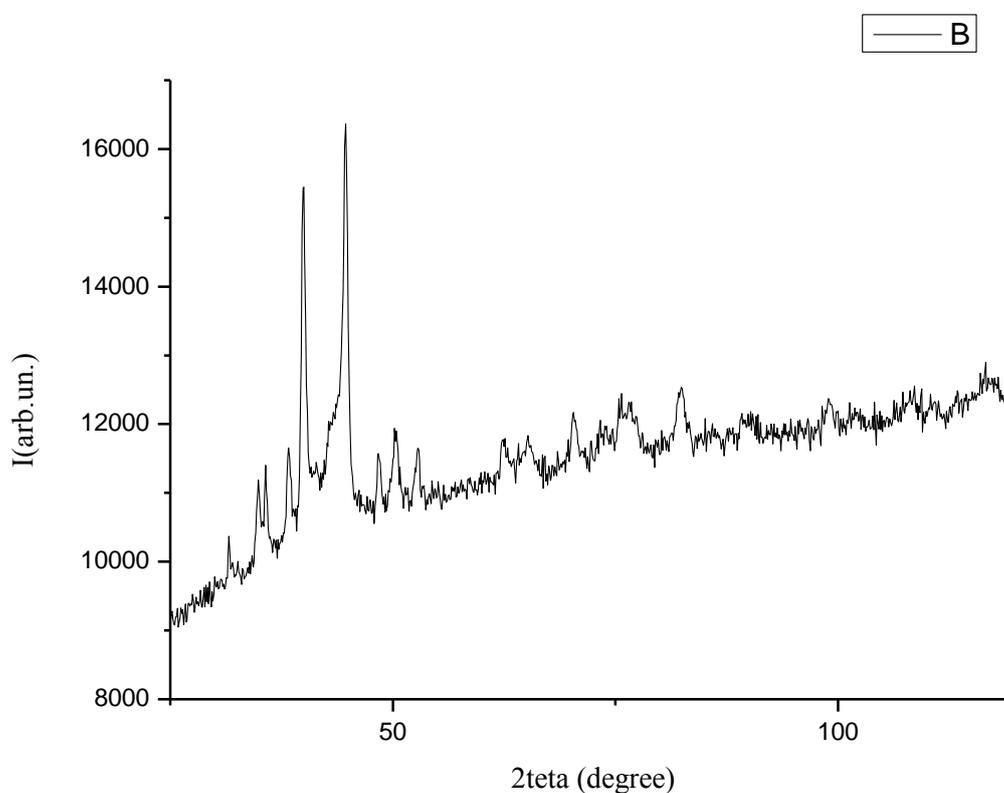


Рисунок 3.12- Рентгенограмма образца стали после обработки

На рисунке 3.12 приведена рентгенограмма после обработки поверхности. Если сравнить с рентгенограммой исходного образца, то она претерпела существенные изменения и имеет весьма сложный характер. Помимо интенсивного рефлекса от α -Fe (44.7°) присутствует достаточно интенсивный

пик при угле 40° , а также менее интенсивные пики, которые отсутствовали у исходного образца. Расшифровка такого сложного спектра не представляется возможным на данном этапе исследований. Исходя из элементного состава, можно предположить, что это могут быть соединения (оксиды, карбиды) и сплавы железа, вольфрама кобальта. Кроме того, наблюдается значительное увеличение рассеяния рентгеновского излучения по сравнению с исходным образцом. Этот результат свидетельствует о наличии значительных искажений структуры обработанной поверхности, наличии различных микро- и макро- напряжений.

Выше проведенные исследования осуществлялись в институте Физики имени Арбузова с использованием их высокоточного лабораторного оборудования.

Исследования всех образцов по заданной методике позволило оценить качество упрочненных покрытий не только по их морфологии, но и в сравнении с исходным не упрочненным образцом.

Наличие исходного образца из материала ШХ-15 позволяет оценить степень изменения, как в составе металла образца, так и в его структуре, что позволяет оценить возможные свойства этого материала после комплексного электроискрового упрочнения.

ГЛАВА 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Ресурсные испытания ТНВД с экспериментальными упрочненными плунжерными парами

Для проведения ресурсных исследований ТНВД модели 33-02 были собраны два топливных насоса, в которых были установлены упрочненные по комплексной электроискровой технологии роликовые толкатели (рис.4.1) и плунжеры (рис.4.2).



Рисунок 4.1 – Толкатель ТНВД модели 33-02, упрочненный по комплексной электроискровой технологии

Упрочненные толкатели и плунжеры после искровой обработки были подвергнуты шлифованию для получения чистоты рабочей поверхности ролика и плунжера в соответствии с техническими требованиями на эти детали.

При этом припуск на шлифование обеспечивал сохранность упрочненного слоя не менее 0,6 мм.



Рисунок 4.2 – Плунжер ТНВД модели 33-02 упрочненный по комплексной электроискровой технологии

Эксплуатационные исследования показывают, что режимы работы ТНВД могут изменяться в значительных пределах. Эти пределы изменений предполагают их изучение с целью выявления рациональных значений условий работы ТНВД.

Установив характер взаимного влияния этих режимов на эффективность работы ТНВД можно в значительной мере повысить эффективность работы дизелей в целом.

Для реализации этого положения необходимо проводить значительные теоретические исследования, описывающие их взаимосвязи.

Существующие исследования в данной области в настоящее время, на наш взгляд, не в полной мере удовлетворяют требованиям эффективной эксплуатации ТНВД. Поэтому в наших исследованиях предполагается провести ряд теоретических исследований в этой области.

Для реализации поставленной задачи нами была предложена методика теоретических исследований эксплуатационных характеристик ТНВД, в которой исследуется взаимосвязь аналитических зависимостей цикловой пода-

чи плунжерной пары ТНВД ресурса работы, а также развиваемого плунжерной пары рабочего давления.

Для проведения этих теоретических исследований были использованы теоретические наработки, связанные с использованием полиномов Лагранжа с неравностоящими узлами интерполяции.

Эти полиномы позволяют более наглядно отследить взаимосвязь исследуемых параметров.

Предлагаемый полином Лагранжа имеет вид $T=P(x;y)$. Эта зависимость представляется в трехмерном пространстве как поверхность, которая в явном виде устанавливает влияние исследуемых показателей от конкретного входного фактора.

Тем самым изменяя входной параметр, мы получим изменение пространственного расположения контролируемой поверхности.

Наша задача состоит в том, чтобы провести исследования этой поверхности. Это осуществляется путем использования путем применения функции нескольких переменных методом дифференциальных исчислений.

При исследовании проблема состоит в том, что для каждого технологического параметра выбранной модели ТНВД в зависимости от количества отработанных часов подобрать такое значение давления плунжерной пары, при котором этот параметр достигал бы наибольшее значение.

Наглядное решение поставленной задачи для топливных насосов автомобилей марки КАМА приведено в виде графиков, которые показаны на рисунке 4.3.

Для проведения исследований фиксируем значение исследуемого параметра $t_i=x_i$. При этом проводится определенная плоскость в зоне фиксации параметра.

После проведения секущей плоскости по поверхности $T=P(x;y)$ вместе пересечения образуется кривая, которая характеризует зависимость $T=f(y)$. В нашу задачу входит исследований этой кривой.

Применяя методы дифференциальных исчислений выявляем крайние точки полученной кривой. В нашем случае мы определяем максимальное значение исследуемой функции $T=f(y)$ в области изменения контролируемого параметра, а именно развиваемое давление плунжерной пары.

Пусть T_i есть \max этой функции. Следовательно, в точке с координатами $x_i; y_i$ кривая $T = f(y)$, лежащая на поверхности $T = P(x; y)$ достигает своего \max , т.е. физически это означает, что заданному ресурсу $t_i = x_i$ соответствует развиваемое плунжерной парой давление $p = y_i$ (рисунок 4.1). Изменив x_i в заданных пределах, можно определить \max других показателей. Тогда каждому значению $x_i; y_i$ на поверхности $T = P(x; y)$ будет соответствовать своя точка максимального T_i .

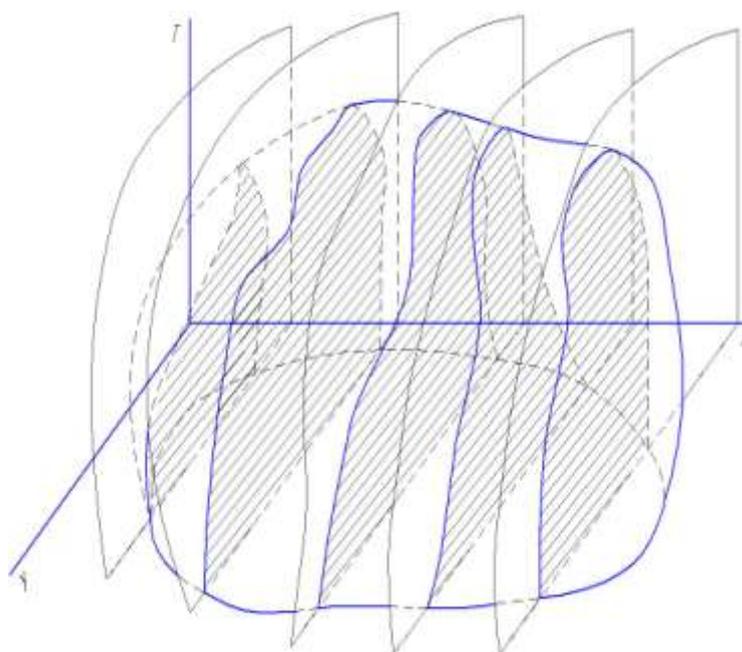


Рисунок 4.3 – Область нахождения цикловой подачи топлива ТНВД модели 33-02 двигателя автомобиля КамАЗ 5320 с заводской плунжерной парой в зависимости от развиваемого плунжерной парой давления и наработки

По вышеуказанной методике можно провести последовательно ряд аналогичных рассечений исследуемой поверхности $T = P(x; y)$, фиксируя определенное значение параметра. Проведя заданное количество рассечений и исследуя те кривые, полученные в этих сечениях на экстремальные точки (\max), то на поверхности можно получить систему точек.

И последовательно соединяя эти точки на исследуемой поверхности $T = P(x;y)$, можно получить кривую, которая отражает максимальное значение исследуемого технологического параметра.

В дальнейшем необходимо ортогонально спроектировать пространственную кривую на поверхности на плоскую поверхность в заданных координатах.

И после этого получит следующие зависимости:

1. Цикловая подача плунжерной пары насоса от количества наработанных часов.
2. Цикловой подачи плунжерной пары насоса от развиваемого давления.
3. Развиваемое давление плунжерной пары от количества часов наработанных насосом.

Указанные графические зависимости для ТНВД модели 33-02 двигателя автомобиля КамАЗ 5320 с заводской плунжерной парой приведены на рисунке 4.4.

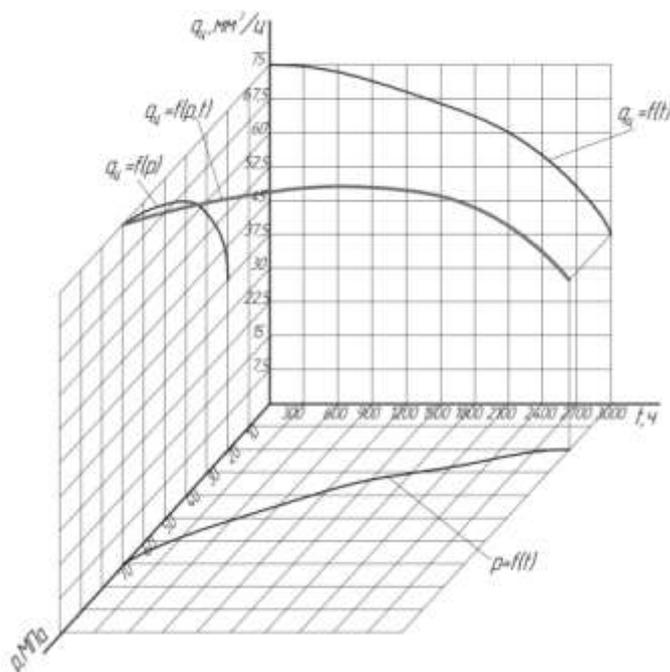


Рисунок 4.4 – Ортогональные проекции цикловой подачи топлива плунжерной пары от его наработки и развиваемого плунжерной парой давления

Описанное ранее графическое выявление режимов работы ТНВД позволяет визуально отслеживать изменения контролируемых параметров.

Но для количественной оценки этих изменений предложенному методу необходимо дать аналитическое описание и на основании этого описания получить соответствующее уравнение, которые характеризуют сам технологический процесс и его свойства.

Исходя из вышеизложенного в аналитическом виде общее уравнение поверхности будет выглядеть следующим образом:

$$P(x; y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x^i y^j \quad (4.1)$$

Установив $x = x_0$ и применив это в уравнение (4.1), получим:

$$P(x; y) \Big|_{x=x_0} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x_0^i y^j \quad (4.2)$$

Преобразовав это уравнение, имеем:

$$T = f(y) = \sum_{j=1}^m b_j y^j, \quad (4.3)$$

где $b_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i$

Эти зависимости описывает график, полученный в результате пересечения секущей плоскости с поверхностью.

Продифференцировав функцию (4.3) по y можно получить уравнение вида:

$$T = f'(y) = \sum_{j=1}^m j b_j y^{j-1}, \quad (4.4)$$

Определив стационарные точки функции $T = f(y)$, т.е. решив уравнение $f'(y) = 0$, можно оценить его корни. Пусть y_1, y_2, \dots, y_m корни уравнения $f'(y) = 0$. Рассчитав Z – исследуемый агропоказатель потерь; X – коэффициент, характеризующий состояние агрофона; Y – коэффициент опережения

$T_k = f(x_k) \quad k=1, m$ и выбрав из последовательности T_k max значение функции, обозначив ее через T_0 , можно найти значение переменной y_0 , соответствующее T_0 .

Таким образом, для некоторого фиксированного значения наработки $t = x_0$ определено значение развиваемого плунжерной парой давления $p = y_0$, при котором значение исследуемого параметра достигает максимального значения.

Установив функцию задания в следующем виде:

$$T = P(x; y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x^i y^j \quad (4.5)$$

и зафиксировав $x = x_0$, можно получить выражение:

$$T = P(x; y) \Big|_{x=x_0} = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i \right) y^j = f(y) \quad (4.6)$$

Проведем дифференцирование выражение (4.6), получим:

$$T = f'(y) = \frac{\partial P(x; y)}{\partial y} \Big|_{x=x_0} = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i \right) j y^{j-1} = 0. \quad (4.7)$$

Если y_0 есть решение уравнения $f'(y) = 0$, то выражение

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i j y^{j-1} = 0 \quad (4.8)$$

обращается в тождество, следовательно

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i j y^{j-1} = 0. \quad (4.9)$$

Уравнение (4.9) задает в неявном виде зависимость стационарных точек от x . Так как не все стационарные точки являются максимальными, то вместе с уравнением (4.9) необходимо учитывать следующее условие

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} x_0^i j(j-1) y^{j-2} > 0 \quad (4.10)$$

Используя предложенную методику на практике появляется возможность определения критических точек (max) значения которых связаны с характеристиками ТНВД, что дает возможность определить их рациональное значение при эффективной эксплуатации.

Все вышеизложенное позволит повысить эффективность проектирования топливных насосов.

4.2 Результаты исследования технических характеристик ТНВД с упрочненными плунжерными парами

Опираясь на предложенную методику теоретических исследований функциональных поверхностей $T=P(x;y)$ для ТНВД автомобилей КАМАЗ с плунжерными парами, изготовленными по оригинальным технологиям. Оригинальность технологий заключается в том, что поверхность плунжеров подвергалась упрочнениям различными методами, а именно химического никелирования, хромирования, комплексной искровой обработки.

Исследуя эти упрочненные плунжеры по параметру цикловой подачи путем установки конкретных значений наработки или основного параметра плунжерной пары – развиваемое давление.

Для получения наглядных преимуществ рассмотрим исследование по вышеприведенной методике два варианта плунжеров:

- серийный плунжер ТНВД автомобиля КАМАЗ, изготовленный из легированной стали ШХ-15.
- серийный плунжер, упрочненный по новой комплексной технологии электроискрового легирования.

Согласно разработанной ранее методике ортогональные проекции зависимостей на исследуемой поверхности исследуются на экстремальные (max) значения исследуемого фактора. Эти кривые по результатам аналитической обработки приведены на рисунках 4.5–4.8.

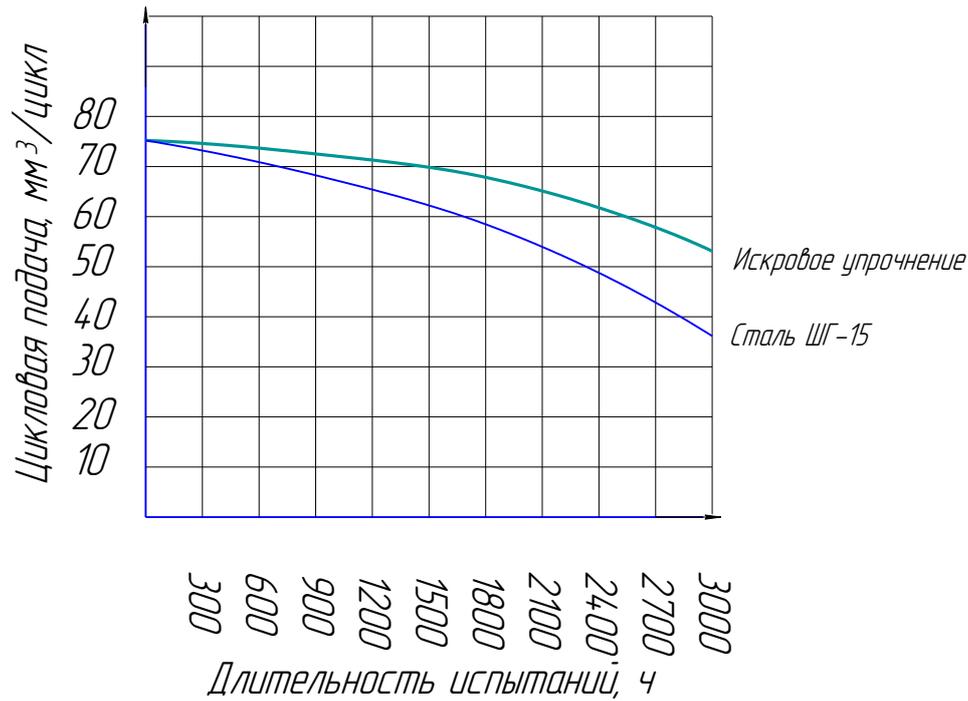


Рисунок 4.5 – Теоретические зависимости цикловой подачи заводского плунжера плунжерной пары и парой с искровым упрочнением от наработки

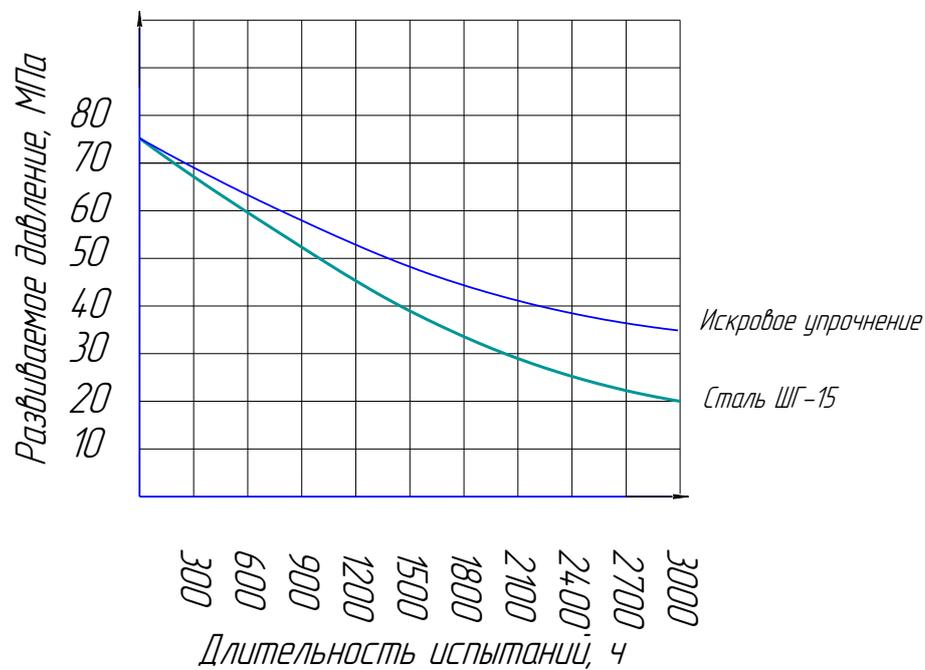


Рисунок 4.6 – Теоретические взаимосвязи развиваемого давления заводского плунжера плунжерной пары с парой с искровым упрочнением от наработки

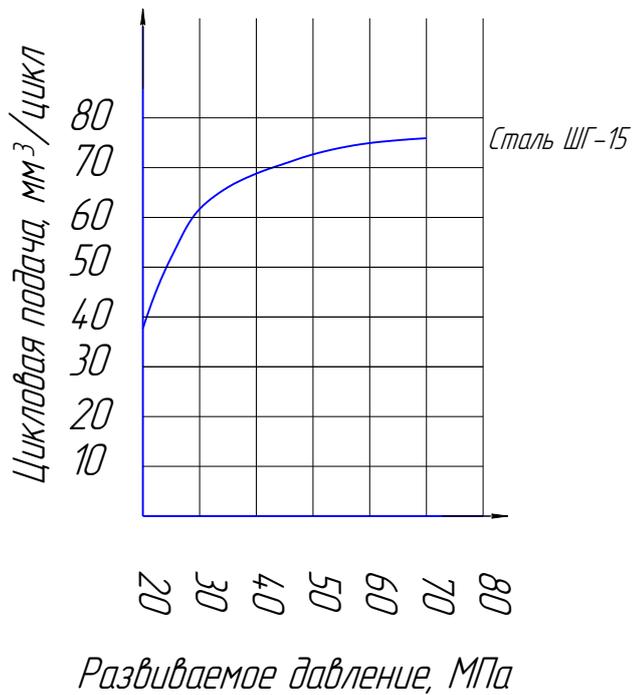


Рисунок 4.7 – Теоретические зависимости цикловой подачи с заводской плунжерной парой от развиваемого давления

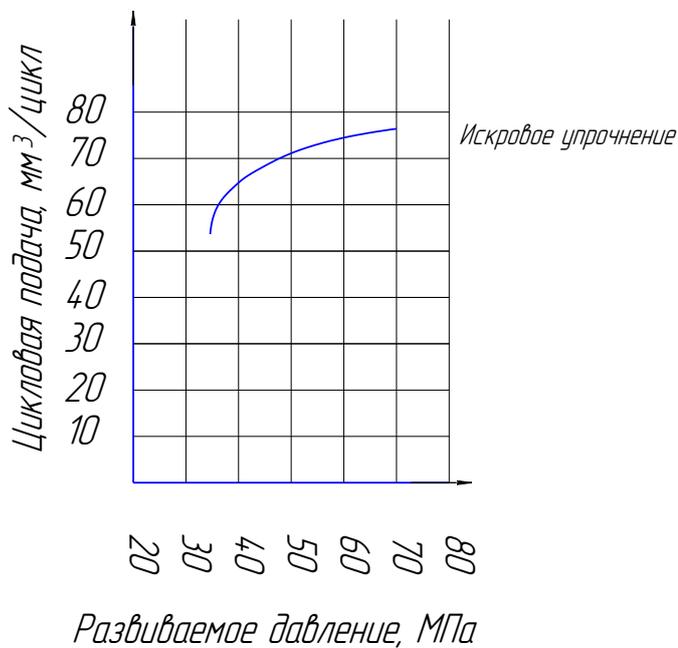


Рисунок 4.8 – Теоретические зависимости цикловой подачи топлива ТНВД модели 33-02 двигателя автомобиля КамАЗ 5320 с плунжерной парой после обработки искровым упрочнением от развиваемого давления

Анализируя полученные зависимости видно, что используя новые технологии комплексного электроискрового упрочнения, позволяют получить увеличение ресурса эксплуатации топливного насоса в 1,5–2 раза за счет повышения износостойкости плунжеров.

Повышение износостойкости плунжеров позволяет не только увеличить ресурс их работы, но и поддерживать заданную цикловую подачу на весь период эксплуатации ТНВД, что в свою очередь скажется на эксплуатации дизеля в целом.

4.3 Оценка сходимости результатов экспериментальных и теоретических исследований

В процессе экспериментальных исследований была проведена проверка согласия в определении степени расхождения опытных и теоретических основных характеристик топливных насосов с различными покрытиями плунжеров. Полученные сравнительные характеристики приведены на рисунках 4.9 – 4.12.

Эти графики позволяют наглядно оценить на сколько предложенная теория соответствует реальным эксплуатационным условиям.

Близкое схождение теоретических и экспериментальных зависимостей позволит сделать заключение об адекватности предложенной методики теоретических исследований.

Положительная оценка этой сходимости позволит рекомендовать производству внедрение технологий комплексного электроискрового упрочнения.

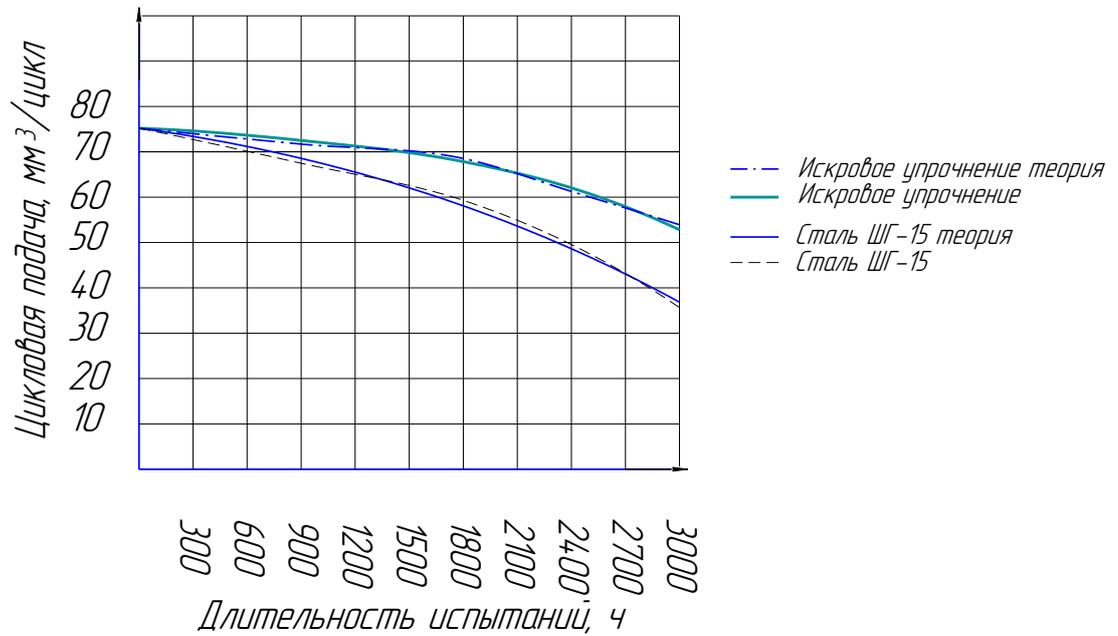


Рисунок 4.9 – График сходимости теоретических и экспериментальных кривых при исследовании серийного плунжера материал ШХ-15 и плунжера, упрочненного по комплексной технологии искрового легирования по параметрам цикловая подача, длительность испытания.

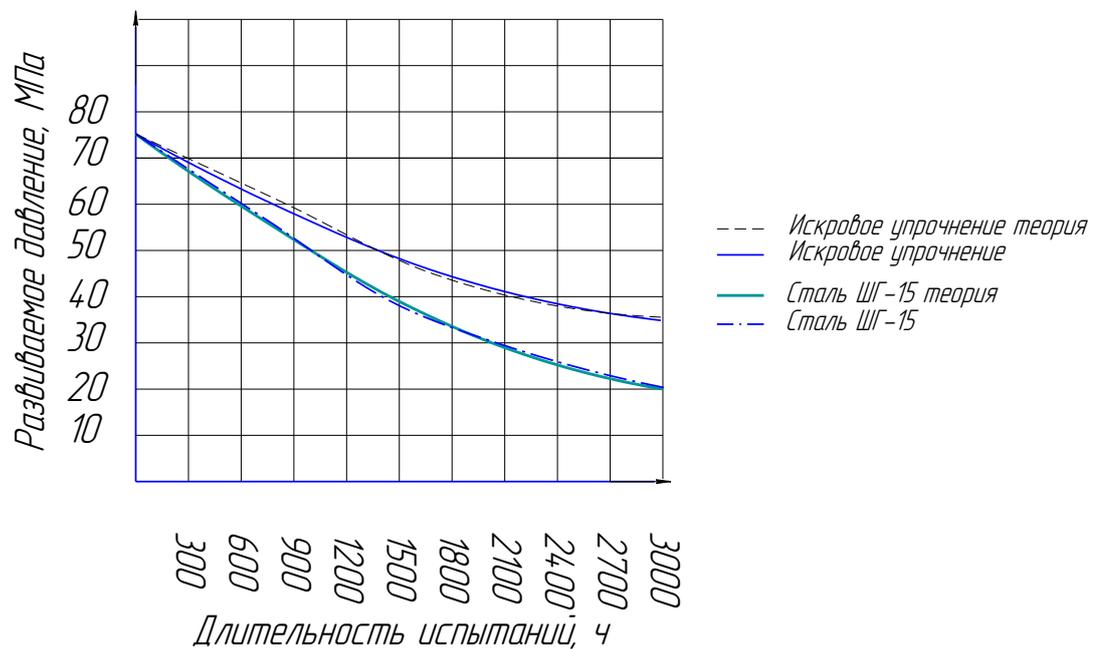


Рисунок 4.10 – График сходимости теоретических и экспериментальных кривых при исследовании серийного плунжера материал ШХ-15 и плунжера, упрочненного по комплексной технологии искрового легирования по параметрам развиваемое давление, длительность испытания.

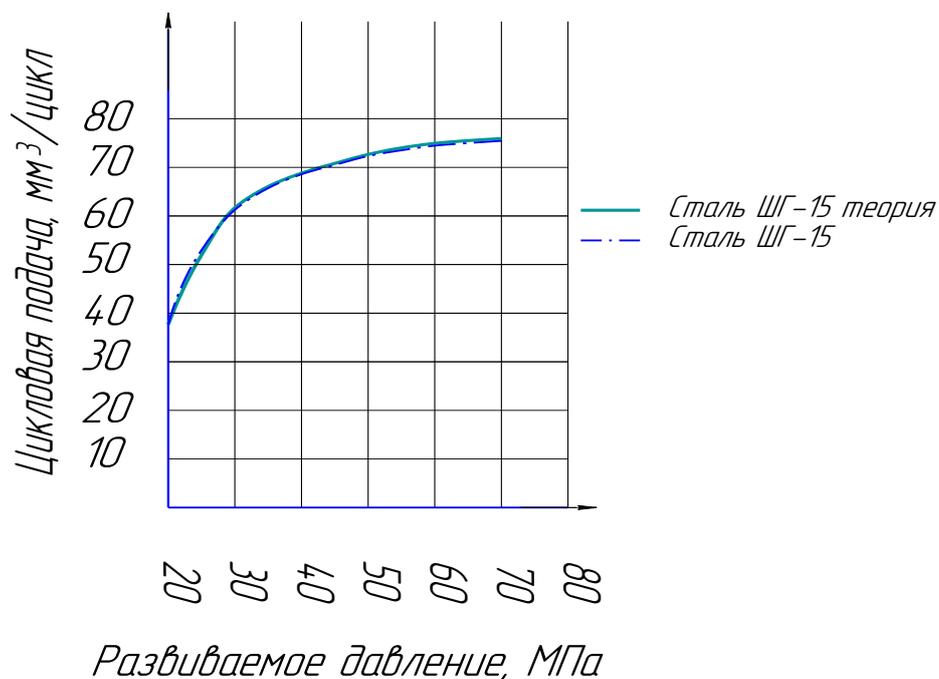


Рисунок 4.11 – График схождения теоретической и экспериментальной кривых при исследовании серийного плунжера материал ШХ-15 по параметрам, цикловая подача, развиваемое давление.

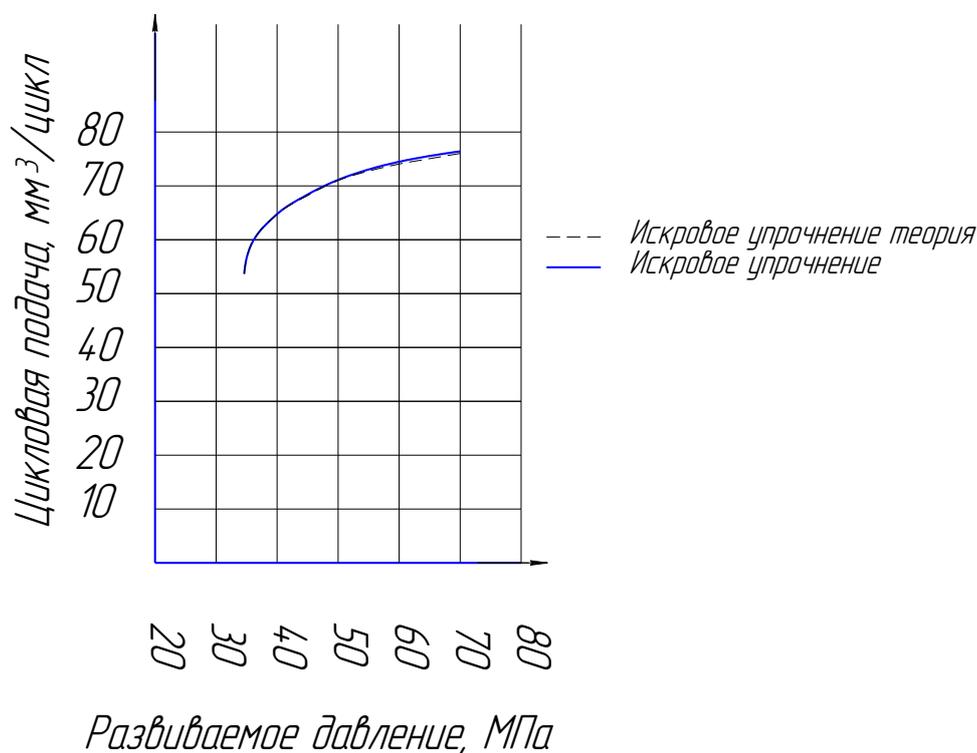


Рисунок 4.12 – График схождения теоретической и экспериментальной кривых при исследовании плунжера, упрочненного по комплексной технологии искрового легирования по параметрам, цикловая подача, развиваемое давление.

Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных с использованием критерия согласия Пирсона χ^2 , который представляет собой сумму квадратов отклонений опытных и теоретических частот в каждом интервале статистического ряда информации:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n_y} \frac{(m_i - m_{m_i})^2}{m_{m_i}}, \quad (4.11)$$

где n_y – число интервалов в укрупненном статистическом ряду;

m_i – опытная частота в i -ом интервале статистического ряда;

m_{m_i} – теоретическая частота в i -ом интервале.

Анализ, сделанный по таблицам вероятности совпадения Р % по критерию согласия χ^2 позволяет сделать заключение о низком уровне процента расхождения теоретических и экспериментальных данных, который не превышает 4%.

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА ТНВД

5.1. Обоснование эффективности внедрения упрочняющих технологий при ремонте ТНВД

Достоинством новых технологий ремонта ТНВД являются схемы обезличивания. При этом необходимо определить годовую программу восстановления основных деталей ТНВД (плунжерные пары).

$$P_c = P_r / D_r, \quad (5.1)$$

где P_r – программа восстановления деталей ТНВД. Исходя из того, что новые технологии позволяют использовать 100% ремонтного фонда, количество плунжерных пар, подлежащих восстановлению, определяем по формуле:

$$P_r = P_n = 360\,000 \text{ шт.},$$

где D_r – рабочие дни в году,

$$D_r = D_k - D_v - D_{от} = 365 - 48 - 36 = 281 \text{ день},$$

$D_{от}$ – 36, трудовой отпуск производственных рабочих;

D_k – 365, годовой цикл дней;

D_v – 48, выходные дни, согласно годового цикла дней.

$$\text{Тогда } P_c = P_r / D_r = 360\,000 / 281 = 1281 \text{ 1300 шт./день.}$$

Исходя из аналогичных операций на производстве при восстановлении плунжерных пар, определяем затраты часовые на технологические операции каждого производственного рабочего

- операция № 1 – 60 шт./ч., в смену – 480 шт.,
- операция № 2 – 12 шт./ч., в смену – 96 шт.,
- операция № 3 – децентрализованный заказ,
- операция № 4 – 12 шт./ч., в смену – 96 шт.,
- операция № 5 – 6 шт./ч., в смену – 48 шт.,
- операция № 6 – 6 шт./ч., в смену – 48 шт.,

- операция № 7 – 6 шт./ч., в смену – 48 шт.,
- операция № 8 – 12 шт./ч., в смену – 96 шт.,

Определяем количество производственных рабочих смены N_{oc_i} :

$$N_{oc_i} = P_{cc} / P_{нч} , \quad (5.2)$$

$$N_{oc1} = 1,35 \cdot 1,5 \text{ чел.},$$

$$N_{oc2} = 7 \text{ чел.},$$

$$N_{oc4} = 7 \text{ чел.},$$

$$N_{oc5} = 14 \text{ чел.},$$

$$N_{oc6} = 14 \text{ чел.},$$

$$N_{oc7} = 14 \text{ чел.},$$

$$N_{oc8} = 7 \text{ чел.}$$

Количество необходимых рабочих в одну смену N_{oc} :

$$N_{oc} = N_{oc_i} = 64,5 \text{ чел.}$$

Количество необходимых рабочих в две смены N_o :

$$N_o = 2 N_{oc} = 2 \cdot 64,5 = 129 \text{ чел.}$$

Производим расчет необходимого технологического оборудования:

- оборудование для проведения шлифовальных работ, в том числе бесцентро-шлифовальное № 2 – 7 ед.,
- притирочное оборудование для создания необходимой точности на базе вертикально-сверлильных станков № 4 и № 5 – 21 ед.,
- станки шлифовальные для обработки плоских поверхностей № 6 – по 7 ед.,
- станки токарно-винторезные № 7 – 14 ед.

Исходя из вышеизложенного расклада технологического оборудования принимаем, что для реализации упрочняющей технологии по плунжерным парам необходимо 49 единиц различного технологического оборудования. Это оборудование имеет различную стоимость. Проведя усредненный расчет принимаем, что стоимость единицы оборудования в среднем составляет 200 тыс. рублей. На основании вышеизложенного общая стоимость оборудования составит около 10 млн. рублей.

Помимо использования технологического оборудования необходимо приобрести соответствующую технологическую оснастку. На эти затраты предполагается использовать порядка 1 миллиона рублей.

Заработная плата производственных рабочих:

T – общая трудоемкость определяется исходя из количества рабочих часов в смену и рабочих дней Dp :

$$T = 8 \cdot N_o \cdot Dp = 8 \cdot 129 \cdot 281 = 289\,992 \text{ чел.ч.}$$

C_3 – часовая тарифная ставка производственного рабочего 50 руб.

Общая стоимость работ по заработной плате:

$$C = T \cdot C_3 = 289\,992 \cdot 50 = 14\,499\,600 \text{ руб.} \approx 14,5 \text{ млн. руб.}$$

Зарплата производственных рабочих определяется по следующей форме:

$$OЗП = ЗП_{pp} + ПР = ЗП_{pp} + 30\%ЗП_{pp} = 14\,500\,000 + 4\,350\,000 = 18\,850\,000 \text{ руб.} \approx 18,85 \text{ млн. руб.}$$

Начисления зарплаты:

$$ДЗП = 13\% \text{ от } OЗП = 2,45 \text{ млн. руб.}$$

Общий фонд оплаты труда: $\Phi ЗП_{pp} = OЗП + ДЗП = 21,3 \text{ млн. руб.}$

Социальные выплаты:

$$O = 10\% \text{ от } \Phi ЗП_{pp} = 2,13 \text{ млн.}$$

Среднюю оплату производственных рабочих определяем из следующего выражения:

$$ЗП_{pp\text{мес}} = \Phi ЗП_{pp} / (P_{pp} \cdot 12) = 21\,300\,000 / 129 \cdot 12 = 29\,760 \text{ руб.}$$

Амортизация технологического оборудования, которое используется в процессе реализации новых технологий 11%:

$$CA = 1,1 \text{ млн. руб.}$$

При реализации предлагаемых технологий затраты на запчасти будут минимальны. Поэтому в основном затраты предполагаются на ремонтные материалы. И они составят следующую величину

$$C_m = 0,05 \cdot (\Phi ЗП_{pp} + O + CA + HP) = 0,05 \cdot (21\,300\,000 + 2\,130\,000 + 1\,100\,000 + 6\,390\,000) = 1\,451\,000 \text{ руб.} \approx 1,5 \text{ млн. руб.}$$

Калькуляция затрат

| | |
|---|-------|
| 1. Оплата труда, млн.руб. | 21,3 |
| 2. Социальные затраты, млн.руб | 2,13 |
| 3. Амортизация технологического оборудования, млн.руб | 1,1 |
| 4. Материалы, используемые в производстве, млн.руб | 1,85 |
| 5. Затраты по кооперации, млн.руб | 3,6 |
| 6. Накладные затраты, связанные с функционированием производства, млн.руб | 6,39 |
| Общая себестоимость, млн.руб | 36,27 |

При определении прибыли учитываем рентабельность производства в районе 30%, тогда прибыль составит:

$$П = 0,3 \cdot СП = 10,88 \text{ млн. руб.}$$

Доход от реализации предлагаемой технологии определяем по следующей формуле:

$$Д = СП + П = 36,27 + 10,88 = 47,15 \text{ млн.руб.}$$

Важным показателем при организации нового ремонтного производства является расчет такого показателя, как срок окупаемости капитальных вложений, который определяется как соотношение капитальных вложений к прибыли:

$$T = \frac{K}{П} \quad , \quad (5.3)$$

Величина капитальных вложений K складывалась из экономических характеристик определенных выше. К этим характеристикам можно отнести следующие затраты:

- Затраты на оборудование и оснастку
- Вложения, связанные с проведением монтажных работ технологического оборудования

– Вложения, связанные с проведением строительных работ при перепланировке производства.

В соответствии с проведенными ранее расчетами было установлено:

– затраты на оборудование и оснастку 11 млн.рублей

– вложения, связанные с проведением монтажных работ технологического оборудования. Этот показатель определяется в примерном соотношении исходя из того, что на эти работы затрачивается около 10% от общей стоимости технологического оборудования. Поэтому этот показатель будет составлять 1 млн.рублей.

– вложения, связанные с проведением строительных работ при перепланировке производства. Этот показатель также берется от примерной стоимости оборудования. И в нашем случае составит 10 млн.рублей.

Суммируя вышеизложенные затраты получаем, что дополнительные затраты связанные с капитальными вложениями составит 22 млн.рублей, при том что прибыль как было определено ранее по формулам составила порядка 10,88 млн. рублей. Подставляя полученные данные по капитальным вложениям и прибыли по ранее заявленной формуле определяем срок окупаемости капитальных вложений.

$$T = \frac{K}{П} = 22/10,88 = 2,02 = 2 \text{ года.}$$

Внедрение предлагаемых новых технологий восстановления плунжерных пар по РТ характеризуется следующими показателями

| | |
|--|-------|
| 1.Общие трудозатраты, тыс. чел. ч | 290 |
| 2.Производственные рабочие, чел. | 129 |
| 3.Общая выручка от организации производства, млн. руб. | 47,15 |
| 4. Затраты, связанные с производством, млн. руб. | 36,27 |
| 5. Общая прибыль производства, млн. руб | 10,88 |
| 6. Дополнительные вложения в основные средства, | |

| | |
|---|-----|
| млн. руб. | 22 |
| 7.Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет | 2 |
| 8.Экономия ресурсов по РТ от внедрения предлагаемых технологий на предприятиях АПК, млн. руб. | 100 |

Проведенный экономический анализ показал высокую эффективность внедрения предлагаемых технологий упрочнения деталей ТНВД в условиях Республики Татарстан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертации предлагается комплексное решение проблем восстановления топливной аппаратуры на примере ее основного узла – топливного насоса высокого давления. Показано, что при его ремонте возникает необходимость восстановления не только плунжерной пары, но и всех деталей силовой цепи кинематической схемы.

2. В диссертационной работе была разработана методика лабораторных исследований, по которой были проведены исследования опытных экспериментальных образцов по показателям твердости, износостойкости, а также проанализированы сравнительные морфологические составы контрольного и опытного образца. Эти исследования показали, что твердость упрочненных поверхностей составляет порядка HRC 67-69 ед. при этом износостойкость упрочненного плунжера возрастает в 1,8 раз.

3. На основе анализа существующего положения дел сделан вывод, что в системе АПК РФ стратегическим направлением обеспечения работоспособности и продления сроков службы имеющегося машинно-тракторного парка является повышение качества и ресурса машин и агрегатов на основе освоения прогрессивных высокоэффективных технологий восстановления их изношенных деталей.

4. Анализ функциональных параметров ТНВД показал, что для моделирования его основных характеристик надежности, таких как безотказность, долговечность, оценочным параметром модели может быть принята средняя цикловая подача насоса.

5. Построенная теоретическая модель основных характеристик ТНВД с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа позволяет определить область, в которой существует функция зависимости цикловой подачи топлива от наработки и развиваемого плунжерной парой давления.

6. Благодаря восстановленным плунжерным парам топливных насосов высокого давления дизельных двигателей предприятия АПК в масштабах

только одной Республики Татарстан сэкономят денежных средств на сумму более 100 млн. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллин И.Ш. Модификация поверхности пленок алюминия под воздействием плазмы /И.Ш.Абдуллин, Д.А.Вдовин, С.Н.Шарифуллин, В.Д.Щербаков //Низко-температурная плазма: межвузовский сборник. –Казань: КАИ, 1979. –С. 51 – 54.
2. Абдуллин И.Ш. Установка для термовакуумного напыления с плазменной очисткой поверхностей подложек /И.Ш.Абдуллин, Д.А.Вдовин, С.Н.Шарифуллин, В.Д.Щербаков //Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов: тезисы докладов 3-го Всесоюзного совещания 9-11 апреля 1979 г. –М., 1979. –С. 115.
3. Авт.свид.№614623 от 14.03.1978. Способ очистки и полировки поверхности изделий /Г.Ю.Даутов, А.А.Са-мигуллин, С.Н.Шарифуллин, Р.И.Яхин //Бюллетень изобретений, 1978. –№ 12.
4. Авт.свид.№660420 от 8.01.1979. Способ обработки алюминиевых пленок на диэлектрических подложках /И.Ш.Абдуллин, Г.Ю.Даутов, А.А.Самигуллин, С.Н.Шарифуллин //Бюллетень изобретений, 1979. –№ 10.
5. Исследование применения плазмы в изготовлении оптических элементов: научно-технический отчет №71027103 /Ответственный исполнитель: С.Н.Шарифуллин. –Казань: КАИ, 1973.
6. Разработка и исследование технологических процессов очистки и полировки оптических элементов высокочастотной плазмой: научно-технический отчет №75065936. /Ответственный исполнитель: С.Н.Шарифуллин. –Казань: КАИ, 1975.
7. Дубинин Г. Н. Диффузионное хромирование сплавов. –М., 1964.
8. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. 2-е изд. –М., 1965.
9. Гуляев А.П. Металловедение. –М., 1978. –648 с.
10. Лейкин А.Е. Материаловедение. –М., 1971. –416 с.

11. Гусейнов А.Г. Повышение работоспособности деталей машин и аппаратуры путем восстановления и упрочнения диффузионной металлизацией. –Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2002.

12. Кодинцев Н.П. Восстановление плунжерных пар топливного насоса УТН-5 нанесением карбидно-хромового покрытия. –Дисс. канд. техн. наук. – Москва, 1997.

13. Бугаев В.Н. Восстановление деталей и повышение ресурса топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей диффузионной металлизацией. –Дисс. докт. техн. наук. –Москва, 1987.

14. Мазаев Ю.В. Исследование работоспособности и надежности форсунок энергонасыщенных тракторов, восстановленных диффузионным титанированием. –Дисс. канд. техн. наук. –Москва, 1982.

15. Гусейнов А.Г. Восстановление плунжерных пар топливного насоса УТН-5 парофазным диффузионным хромированием в вакууме с последующей механической обработкой. –Дисс. канд. техн. наук. –Москва, 1987.

16. Казанцев С.П. Восстановление плунжерных пар топливных насосов распределительного типа диффузионными хромонитридными покрытиями. – Дисс. канд. техн. наук. –Москва, 1988.

17. Богачев Б.А. Восстановление распылителей форсунок автотракторных дизелей диффузионным контактным хромированием в вакууме. –Дисс. канд. техн. наук. –Москва, 1988.

18. Абдуллаев Б.М. Восстановление нагнетательных клапанов рядовых топливных насосов Диффузионным хромированием. –Дисс. канд. техн. наук. – Москва, 1991.

19. Прилепин В.А. Повышение надежности поршневых топливоподкачивающих насосов дизелей восстановлением и упрочнением деталей диффузионным хромированием. –Дисс. канд. техн. наук. –Москва, 1987.

20. Бардадын Н.А. Восстановление и упрочнение прецизионных деталей топливной аппаратуры дизелей диффузионным бороникелированием. – Дисс. канд. техн. наук. – Москва, 1994.

21. Ильин В.К. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники методами термодиффузионного насыщения. –Дисс. докт. техн. наук. –Казань, 2004.

22. Диденко А.М. Дизели СМД. Справочник /А.М.Диденко, А.П.Строков, В.И.Водолажский. –М.: Агропромиз-дат, 1990. –229 с.

23. Кузнецов А.В. Устройство и эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. –М.: Высшая школа, 1979. –315 с.

24. Руднев В.К. Повышение ресурса гидроагрегатов строительных и дорожных машин /В.К.Руднев, К.В.Руднев. –Орел: ОрелГТУ, 2001. –184с.

25. Заявка № 2008117880/22(020270) от 04.05.2008 г.на патент на полезную модель: комплекс оборудования для восстановления плунжерных пар /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин.

26. Заявка № 2008117880/22(020636) от 04.05.2008 г.на патент на полезную модель: конический калибр /Н.Р.Адигамов, Г.Р.Муртазин, С.Н.Шарифуллин.

27. Адигамов Н.Р. Технология восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления без их обезличивания /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Труды ГОСНИТИ. –М., 2008. Т. 102. –С.106 – 108.

28. Адигамов Н.Р. Методы восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Автомобили и техносфера: материалы V Международной научно-технической конференции 28-30 ноября 2007 г. –Казань: КГТУ (КАИ), 2007 –С. 261.

29. Адигамов Н.Р. Комплексное решение проблем восстановления топливных насосов высокого давления дизелей /Н.Р.Адигамов, А.Н.Адигамова, С.Н.Шарифуллин // Автомобили и техносфера: материалы V Международной научно-технической конференции 28-30 ноября 2007 г. –Казань: КГТУ (КАИ), 2007 –С. 262-263.

30. Адигамов Н.Р. Перспективные технологии восстановления топливных насосов высокого давления дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин // Перспективные технологии и технические средства в АПК: материалы Международной научно-практической конференции 15-16 ноября 2007 г. – Мичуринск: МичГАУ, 2008 –С. 150-152.

31. Адигамов Н.Р. Роль ремонтного производства в обеспечении эксплуатационных свойств автотрак-торной техники //Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин // Научный потенциал – аграрному производству: материалы Всероссийской научно-практической конференции 26-29 февраля 2008 г. –Ижевск: ГСХА, 2008. –Т. 3. –С. 192 – 197.

32. Адигамов Н.Р. Комплексный подход к решению проблем восстановления топливной аппаратуры дизелей /Н.Р.Адигамов, С.Н.Шарифуллин //Современные технологии в машиностроении: сб.статей XI Международной научно-практической конференции. –Пенза: Приволжский Дом Знаний, 2007. –С. 143 – 145.

33. Адигамов Н.Р. Перспективные технологии восстановления изношенных деталей в современных условиях сельскохозяйственного производства /Н.Р.Адигамов, А.Н.Адигамова, С.Н.Шарифуллин //Инновационное развитие агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской научно-практической конференции. –Казань: Казанский ГАУ, 2007. –С. 94 – 98.

34. ОСТ В 3-9.015-84. Покрытия металлические и неметаллические неорганические.

35. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. Т. 1 и 2 /Под ред. М.А.Шлугера. –М.: Машиностроение, 1985.

36. Микотин В.Я. Технология ремонта сельскохозяйственных машин и оборудования. –М.: Колос, 1997. –367 с.

37. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением. –М.: Энергия, 1991. –248 с.

38. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. –М.: Машиностроение, 1993. –246 с.

39. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. –М.: Энергия, 1996. –210 с.
40. Патент РФ на изобретение № 2280549. Устройство для восстановления упругости пружин /Н.Р.Адигамов, Р.В.Гарипов, А.Н.Адигамова //Бюллетень изобретений, 2006. –№ 21.
41. Адигамов Н.Р. Методы восстановления пружин топливных насосов высокого давления дизелей /Н.Р.Адигамов, А.Н.Адигамова, С.Н.Шарифуллин //Перспективные технологии и технические средства в АПК: материалы Международной научно-практической конференции 15-16 ноября 2007 г. –Мичуринск: МичГАУ, 2008. –С. 153-155.
42. Кулаков М.М. О ресурсе плунжерных пар НД-21 и НД-22 /М.М.Кулаков //Надежность и ремонт сельско-хозяйственной техники: труды Горьковского сельско-хозяйственного института. –Горький, 1978. –Т. 125. –С. 33 – 37.,
43. Гаркавый Е.В. К вопросу о термическом равновесии в высокотемпературной газовой струе /Гаркавый Е.В. //ИФЖ, 1962. –Т. 5. –№ 8.
44. Финкельнбург В. Электрические дуги и термическая плазма. Пер. с нем. /В.Финкельнбург, Г.М.Меккер. –ИЛ, 1961.
45. Мак Даниэль И. Процессы столкновений в ионизованных газах. Пер. с англ. –М.: Мир, 1967.
46. Шкаровский И. Кинетика частиц плазмы. Пер. с англ. –М.: Атомиздат, 1969.
47. Энгель А. Ионизованные газы. –М.: Физматгиз, 1959.
48. Зельдович Я.В. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений /Я.В.Зельдович, Ю.П.Райзер. –М.: Физматгиз, 1963.
49. Слухоцкий А.Е. Индукторы для индукционного нагрева /А.Е.Слухоцкий, С.Е.Рыскин. –Л.: Энергия, 1974.
50. Высокочастотная электротермия /Под ред. А.В.Донского. –М.: Машиностроение, 1965.

51. Физика и техника низкотемпературной плазмы /Под общей ред. С.В.Дресвина. –М.: Атомиздат, 1972.

52. Гойхман В.Х. Высоочастотный индукционный кольцевой разряд и его параметры /В.Х.Гойхман //Низкотемпературная плазма: сборник. –Л.: ЛГПУ, 1968.

53. Блинов М.Г. К вопросу влияния динамики потока на характеристики высоочастотного плазмотрона /М.Г.Блинов, В.В.Гусев, Л.Н.Захаров, С.А.Неустроев, Б.А.Суходаев // Генераторы низкотемпературной плазмы: сборник. –М.: Энергия, 1969.

54. Кулагин И.Д. Эффективность индукционного нагрева газов /И.Д.Кулагин, Л.М.Сорокин // Генераторы низкотемпературной плазмы: сборник. –М.: Энергия, 1969.

55. Гойхман В.Х. К расчету мощных высоочастотных генераторов для нагрева ионизированного газа /В.Х.Гойхман, Д.БМондрус //Электротермия, 1967. –№ 59.

56. Донской А.В. Высоочастотные электротермические установки с ламповыми генераторами /А.В.Донской, Г.С.Рамм, Ю.Б.Вигдорович. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.

57. Донской А.В. Улучшение характеристик высоко-частотных электротермических установок /А.В.Донской, В.В.Володин. –М.: Энергия, 1966.

58. Гинкин Г.Г. Справочник по радиотехнике. –М.: Энергия, 1948.

59. Попов В.С. Электротехнические измерения. –М.: Энергия, 1968.

60. Сергиенко А.С. Комплексное исследование статических и динамических вольтамперных характеристик плазмотронов постоянного тока. – Дисс. канд. техн. наук. –Минск, 1971.

61. Адигамова М.Н. Восстановление деталей СХМ методами дуговой металлизации/Гайнутдинов Н.М., Гаязов Ф.М.. – Материалы 77-ой студенческой (Региональной) научной конференции «Студенческая наука – аграрному производству», Т.1., Казанский ГАУ, 2019., с.250-253.

62. Адигамова М.Н. Методика лабораторных исследований упрочненных поверхностей/ Гаязов Ф.М., Шарифиев А.А. – Материалы 77-ой студенческой (Региональной) научной конференции «Студенческая наука – аграрному производству», Т.1., Казанский ГАУ, 2019., с.271-272.

63. Адигамова М.Н. Лабораторные исследования упрочненных поверхностей рабочих органов СХМ /Адигамов Н.Р., Шарафиев А.А. –Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессор И.Е.Волкова «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», Казанский ГАУ, 2019.

64. Адигамова М.Н. Повышение износостойкости молотков дробилок кормов электроискровым легированием /Гималтдинов И.Х. –Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессор И.Е.Волкова «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», Казанский ГАУ, 2019.

65. Адигамова М.Н. Лабораторные исследования металлических поверхностей, упрочненных с применением металлокерамических компонентов/ Адигамов Н.Р., Шарифиев А.А. – Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессор И.Е.Волкова «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», Казанский ГАУ, 2019.

ПРИЛОЖЕНИЕ

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института Механизации и
технического сервиса Казанского ГАУ

_____ Яхин С.М.

«03» июня 2019г

АКТ

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

Мы, директор Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», д.т.н., профессор С.М. Яхин и заведующий кафедрой Эксплуатации и ремонта машин, д.т.н., профессор Н.Р. Адигамов составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы аспиранта кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Адигамовой Мадины Наильевны на тему «Разработка комплексной технологии упрочнения деталей ТНВД при их изготовлении и восстановлении» используются в учебном процессе Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

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

Зав. каф. Эксплуатации и ремонта машин
ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»

д.т.н., профессор

_____ Адигамов Н.Р.

РЕЦЕНЗИЯ

на научно-квалификационную работу (диссертацию)
аспиранта Адигамовой Мадины Наильевны

Тема работы: «Разработка комплексной технологии упрочнения деталей
ТНВД при их изготовлении и восстановлении»

В экспериментальных и теоретических исследованиях аспиранта Адигамовой М.Н. используются методы расчета, основанные на положениях теории надежности, математической статистики и теории вероятности. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием теории интерполяционных полиномов Лагранжа.

По результатам исследований обоснованы режимные параметры и разработаны технологии для электроискрового упрочнения основных высокоточных деталей топливной аппаратуры.

Разработанная аспирантом Адигамовой М.Н. технология упрочнения высокоточных деталей ТНВД методом комплексного воздействия электроискровой обработки, позволяет повысить эффективность эксплуатации топливной аппаратуры отечественных и зарубежных дизелей.

Основываясь на экспериментальных исследованиях, проведенных в лабораторных условиях, аспирант Адигамова Мадина Наильевна в своей работе наглядно продемонстрировала и описала конструктивно-технологические параметры и процесс упрочнения высокоточных деталей ТНВД. Аргументированные выводы и достоверные результаты исследований внесут весомый вклад в разработку новых конструкций топливной аппаратуры дизелей.

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

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

У аспиранта Адигамовой Мадины Наильевны имеются публикации по результатам исследований и экспериментов в изданиях РИНЦ.

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

В данной научно-квалификационной работе выполнен большой объем работ. Лабораторные эксперименты проводились на оборудовании, Казанского государственного аграрного университета и Института органической и физической химии им. А. Е. Арбузова.

Для конструктивно-технологических параметров деталей ТНВД, аспирант, пользуясь теоретическими расчетами, подобрал современные конструкционные материалы.

Так же в научно-квалификационной работе имеются некоторые недостатки:

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

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

Зав.кафедрой «Тракторы, автомобили и энергетические установки»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет, д.т.н., профессор

Хафизов К.А.

РЕЦЕНЗИЯ

на научно-квалификационную работу (диссертацию)

аспиранта Адигамовой Мадины Наильевны

Тема работы: «Разработка комплексной технологии упрочнения деталей ТНВД при их изготовлении и восстановлении»

При производстве и ремонте высокоточных деталей топливной аппаратуры высокого давления (ТНВД) необходимо использовать новые комплексные технологии по повышению износостойкости рабочих поверхностей.

Качественный ремонт ТНВД невозможен без разработки новых технологий изготовления и восстановления их высокоточных деталей с использованием специализированного и универсального технологического оборудования и оснастки. Такое производство невозможно без разработки и внедрения перспективных технологий в области упрочнения высокоточных деталей ТНВД.

В связи с этим важной задачей является разработка комплексной технологии упрочнения деталей ТНВД при их изготовлении и восстановлении. Поэтому работа аспиранта Адигамовой Мадины Наильевны является актуальной.

По результатам экспериментальных, лабораторных и теоретических исследований выполненных аспирантом Адигамовой Мадиной Наильевной, были опубликованы статьи в научно-технических журналах и сборниках.

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

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

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

В данной работе проведен сравнительный анализ, серийных и экспериментальных данных исследований по эксплуатации ТНВД

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

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

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

Р.Л. Сахапов

