

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

Направление подготовки –35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**ТЕМА: Повышение долговечности гидрораспределителей  
комбинированной электрофизикомеханической обработкой**

Студент магистратуры \_\_\_\_\_ Фахрутдинов Р.Р.

Научный руководитель,  
к. т. н., доцент \_\_\_\_\_ Шайхутдинов Р.Р.

Рецензент  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Васильев С.П.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите  
(протокол № 12 от 05 февраля 2018 г.)

Зав. кафедрой профессор \_\_\_\_\_ Адигамов Н.Р.  
ученое звание подпись Ф.И.О.

Казань-2018

## АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе Фахрутдинова Раиля Рамисовича на тему: «Повышение долговечности гидрораспределителей комбинированной электрофизикомеханической обработкой»

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

Первой главе рассмотрены неисправности гидрораспределителей, причины их появления, охарактеризованы виды изнашивания, которым они подвергаются. Рассмотрены используемые методы восстановления золотниковых пар. Наиболее приемлемым способом в нашем случае является способ комбинированной электрофизикомеханической обработки-электроискрового наращивания с последующим латунированием.

Второй главе рассмотрены сущность и определены основные параметры процесса предлагаемого способа восстановления.

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

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных исследований. Приведены результаты микрометрических исследований. Получены экспериментальные данные влияния параметров процесса на микротвердость и износостойкость покрытия.

Работа оканчивается общими выводами и рекомендациями

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	7
1.1 Причины потери работоспособности высокоточных деталей топливной аппаратуры.....	7
1.2 Анализ способов восстановления плунжерных пар .....	10
1.3 Анализ способов восстановления деталей методами металлизации.....	14
1.4 Плазменная металлизация.....	24
1.6 Свойства металлизационных покрытий.....	30
1.7 Выводы и задачи.....	34
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	35
2.1 О свойствах плазмы и возможностях ее применения.....	35
2.2. Восстановление геометрических размеров деталей плазменным напылением.....	36
2.3. Разработка технологического процесса восстановления плунжерных пар плазменным напылением.....	43
2.4 Выводы .....	48
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	49
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	49
3.2 Оборудование для плазменного напыления.....	49
3.3 Методика лабораторных исследований образцов с покрытиями на износостойкость.....	52
3.4 Методика определения толщины покрытия.....	57
3.5 Обработка экспериментальных данных и оценка точности измерений...	58
3.6 Определение необходимого числа экспериментов.....	60
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	47
4.1.Результаты исследования дефектов и износов золотников гидрораспределителей .....	47

4.2. Результаты исследований по определению влияния емкости конденсатора на скорость роста и микротвердость покрытий .....	69
4.3. Результаты металлографических исследований покрытий, полученных методом электроискровой наплавки .....	75
4.4 Выводы: .....	76
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ .....	83
ЛИТЕРАТУРА .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время эксплуатируемые мобильные технологические машины в сельском хозяйстве более чем на 75...85% выработали свой ресурс. По сравнению с 1990 г. количество тракторов сократилось в 2,5 раза, количество списываемой техники ежегодно в три-шесть раз превышает количество вновь поступившей [ ]. В этих условиях острого кризиса в системе АПК страны стратегическим направлением обеспечения работоспособности и продления сроков службы имеющейся машинно-тракторного парка является повышение качества и ресурса машин и агрегатов на основе освоения прогрессивных технологий восстановления их изношенных деталей.

Под действием постоянных нагрузок и влиянием окружающей среды изнашиваются рабочие поверхности; изменяются первоначальные размеры деталей, а также теряются их физико-механические свойства; нарушается взаимное расположение деталей; нарушается зацепление зубчатых передач; возникают дополнительные нагрузки и вибрации; снижаются эластичные и упругие свойства деталей; откладывается нагар и накипь и т.д. Вследствие этих дефектов происходит частичная или полная утрата деталями или агрегатами своей работоспособности.

Служба ремонта машин призвана устранить эти дефекты. Существует большое количество методов и способов ремонта и восстановления деталей или агрегатов до своих первоначальных свойств, а также продления межремонтного ресурса, повышения безотказности машин и т.д. Наиболее перспективным, простым и доступным способом восстановления и упрочнения деталей является электроискровая обработка.

Данный процесс обработки металлических поверхностей основан на использовании действия импульсного электрического разряда, который проходит в газовой среде между электродами. Суть в том, что при искровом

разряде в газовой среде происходит преимущественное разрушение материала электрода (анода) и перенос продуктов эрозии на поверхность детали (катод).

Метод электроискрового наращивания металла осуществляется без существенного нагрева заготовки и включает перенос части материала электрода-инструмента на восстанавливаемое или упрочняемое изделие. При применении электрода из твердого сплава он проникает в материал изделия (на глубину до 0,07 мм), а часть остается на обрабатываемой поверхности, что может быть использовано для компенсации износа детали и ее восстановления до номинального размера.

Метод электроискровой обработки постоянно совершенствуется и область его применения с каждым днем расширяется. Так как он отвечает требованиям высокой эффективности, экологичности и универсальности. Доступность для любых ремонтных предприятий, в том числе и для мало оснащённых, также увеличивает приоритетность данного метода перед другими.

Для улучшения приработки золотниковых пар и уменьшения их износа после искрового наращивания можно нанести слой из медьсодержащих сплавов методом натирания – латунирования.

Поэтому дальнейшие исследования метода восстановления изношенных золотниковых пар комбинированной электрофизикомеханической обработкой является актуальной задачей.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

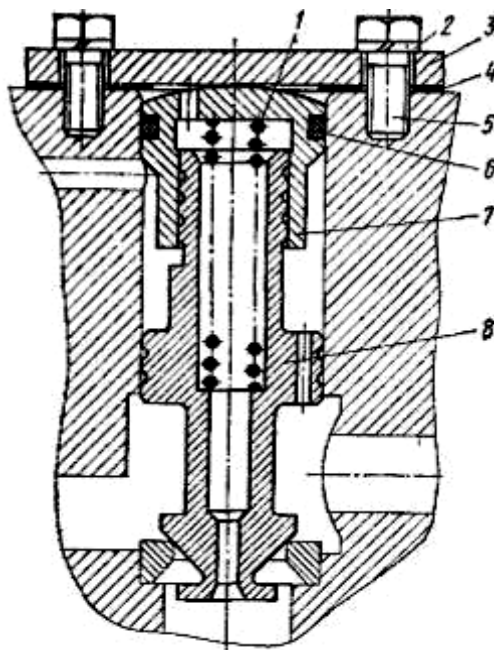
## 1.1 Гидрораспределители тракторов

Распределитель гидросистемы служит для распределения потока рабочей жидкости, подаваемой насосом, между потребителями (силовыми цилиндрами и гидромоторами), для автоматического переключения системы на холостой ход (перепуска рабочей жидкости в бак) в периоды, когда все потребители отключены, и для ограничения давления в гидросистеме при случайных перегрузках. ГОСТ 8751—58 предусматривает четыре типоразмера распределителей с пропускной способностью 25, 75, 150 и 300 л/мин. С 1962 г. распределители выпускаются с шариковой фиксацией трехзолотниковые Р75-В3 и двухзолотниковые Р75-В2. Буквы и цифры означают:

- Р — распределитель
- В — тип золотника, который имеет фиксацию положений «Подъем», «Принудительное опускание» и «Плавающее», а также автоматический возврат из положений «Подъем» и «Принудительное опускание»
- 75 — максимальная пропускная способность в л/мин
- 2 и 3 — количество золотников

Трехзолотниковый распределитель допускает отдельное управление тремя потребителями (силовыми цилиндрами и гидромоторами), а двухзолотниковый — двумя потребителями.

С 1967 года вместо распределителей Р75-В3 и Р75-В2 промышленность выпускает новые модели с индексом А, т. е. Р75-В3-А и Р75-В2-А. Эти распределители отличаются усовершенствованными узлами перепускного клапана и управления. Конструкция перепускного клапана и его гнезда осталась прежней, а остальные детали этого узла изменены или изъяты из новой конструкции узла перепускного клапана (рис.1.1).



1 — пружина перепускного клапана; 2 — шайба пружинная; 3 — упор; 4 — прокладка упора; 5 — болт; 6 — кольцо уплотнительное; 7 — направляющая клапана; 8 — клапан перепускной.

Рисунок 1.1- Узел перепускного клапана распределителя Р75-ВЗ-А.

Направляющая и пробка узла перепускного клапана распределителя Р75-ВЗ-А объединены в одну деталь, поэтому длина направляющей 7 стала меньше и целиком находится в корпусе распределителя, что упростило конструкцию упора 3 перепускного клапана (рис. 1.2).

Сферической частью направляющая упирается в крышку (упор) 3. Между корпусом распределителя и крышкой 3 установлена паронитовая прокладка 4, которая имеет большую ширину уплотнительной части, чем в распределителе Р75-В. Пружина 1 перепускного клапана и болты 5 крепления крышки имеют меньшую длину.

Для предотвращения перетекания рабочей жидкости из напорной магистрали в полость над сферической частью направляющая 7 перепускного клапана имеет резиновое уплотнительное кольцо 6. В сферической части направляющей просверлено отверстие, которое служит для отвода утечек из полости над сферической поверхностью направляющей в сливную

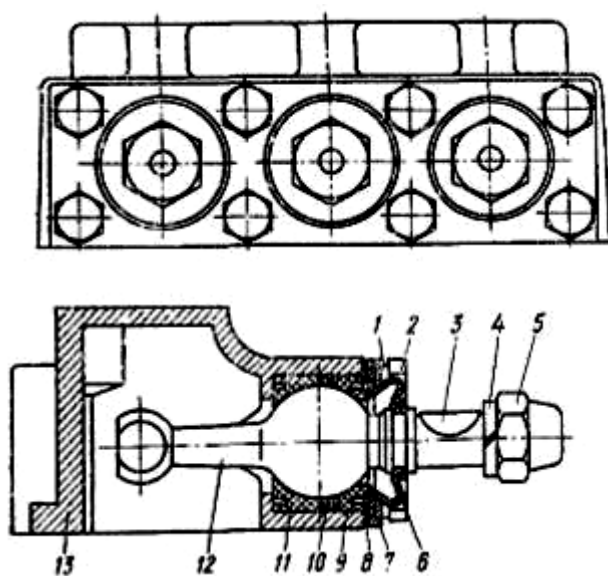


магистраль распределителя через осевое отверстие клапана 8. Кроме того, это отверстие может быть использовано при демонтаже клапана.

Так как направляющая 7 может самоустанавливаться, то возможность зависания перепускного клапана значительно уменьшилась.

Новый узел управления отличается от прежней конструкции отсутствием оси крепления рычагов 12 в верхней крышке и устройством уплотнения их.

В безосевой конструкции сфера рычага опирается на два вкладыша 11 и 9, которые имеют внутреннюю сферическую и наружную цилиндрическую поверхности. Между вкладышами установлено резиновое уплотнительное кольцо 10. В старой конструкции оно находилось за центром сферы рычага, ближе к плоскости крышки, а теперь — по другую сторону сферы. В этом случае давление рабочей жидкости на сферу способствует улучшению уплотнения. Верхний вкладыш 9 упирается торцом в пластину колец, а нижний вкладыш 11 — в дно цилиндрической выточки в крышке 13.



1 — шайба пружинная; 2 — болт; 3 — шпонка сегментная; 4 — шайба пружинная; 5 — колпачек рукоятки; 6 — пыльник; 7 — пластина пыльников; 8 — пластина колец; 9 — вкладыш верхний; 10 — кольцо уплотнительное (27X3); 11 — вкладыш нижний; 12 — рычаг; 13 — крышка верхняя.

Рисунок 1.2 - Узел управления распределителя P75-B3-A.

Сверху на пластину колец 8 установлены три или два гофрированных пыльника 6 прежней конструкции. Основания пыльников прижимаются другой пластиной 7 пыльников. Обе пластины 8 и 7 крепятся к крышке с помощью восьми или шести болтов 2 (соответственно для Р75-ВЗ-А и Р75-В2-А). Рычаг фиксируется от поворота с помощью лысок на малой сфере, которые плотно прилегают к стенкам отверстия в золотнике.

Малая сфера рычага и отверстие рычага под эту сферу имеют размеры большие на 3 мм, чем в старых распределителях Р75-ВЗ и Р75-В2. В связи с этим увеличилась длина золотника в новых распределителях (Р75-ВЗ-А и Р75-В2-А).

Чтобы заменить износившееся уплотнительное кольцо 10, необходимо отвернуть болты 2 крепления пластин, снять пластину 7 пыльников, затем провести пластину 8 колец через основания пыльников 6 и снять ее, а после этого вынуть рычаг вместе с наружным вкладышем. Теперь можно заменить резиновое кольцо 10, имеющее размеры 27Х3 мм. Сборка узла управления производится в обратном порядке. Новый узел управления более долговечен в связи с введением самоуплотнения сферы и устранением элементов, способствующих износу узла.

В распределителях с буквой «А» изменена конструкция заглушек. На каждой заглушке между торцом и канавкой под резиновое кольцо имеется бурт для предохранения самого кольца от выдавливания при отвертывании заглушки.

В настоящее время помимо гидрораспределителей серии Р75 в различных тракторах МТЗ используются модели приведенные в табл.1.1

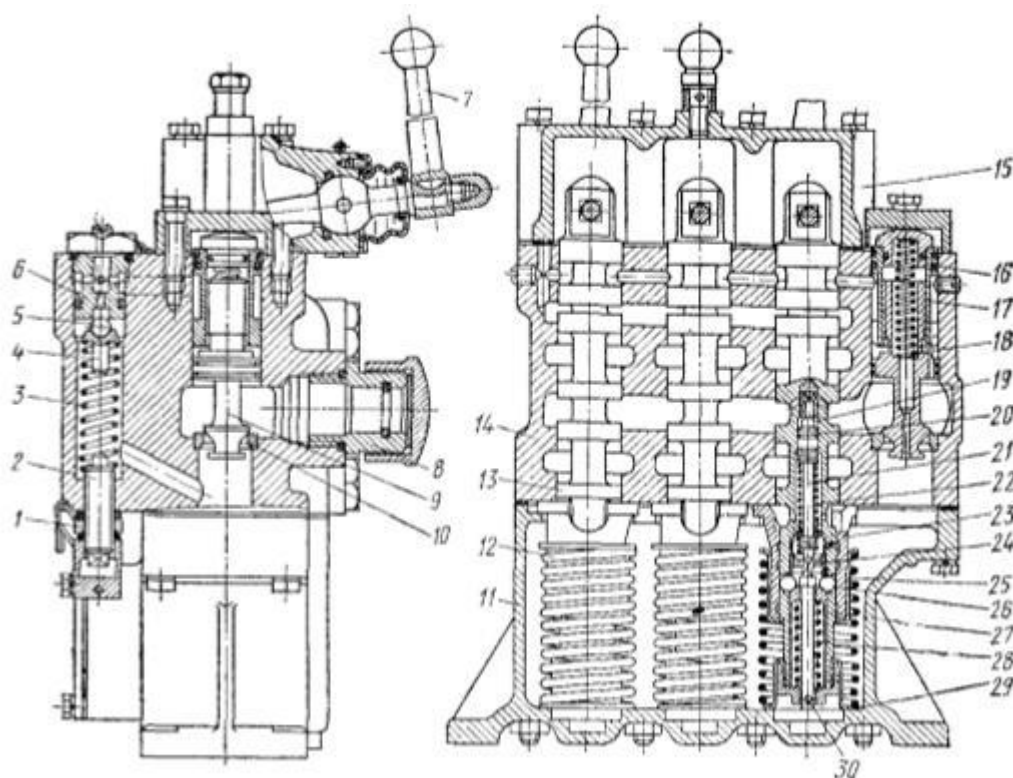
Таблица 1.1- Гидрораспределители тракторов МТЗ

Гидрораспределитель	Марка трактора
Р80-3/1-222 Р80-3/1-222Г (с гидрозамком)	<a href="#">МТЗ-50</a> , <a href="#">МТЗ-80</a> и модификации

Гидрораспределитель	Марка трактора
Р80-3/4-222 Р80-3/4-222Г (с гидрозамком)	МТЗ-50, <a href="#">МТЗ-52</a> , МТЗ-570, МТЗ-572, МТЗ-80 и модификации, МТЗ-82 и модификации, <a href="#">МТЗ-100</a> , МТЗ-102, МТЗ-1221. Используется только на технике с силовым регулированием
РП70-1221 РП70-1221С	МТЗ-100, <a href="#">МТЗ-1221</a> , МТЗ-1521
РП70-822	МТЗ-1221, <a href="#">МТЗ-921</a>
РП70-923 (РП70.000-01)	МТЗ-1522/1523
РП70-921	МТЗ-1221
РП70-890	МТЗ 80.1, 82.1, 892.2 без регулятора и гидравлического подъемника

**Распределители Р150** выполнены по одной конструктивной схеме с распределителями Р75-ВЗ, но большей пропускной способности (150 л/мин) и большей массы (35 кг).

Золотники распределителей Р150-ВЗ производства Челябинского тракторного завода (ЧТЗ) имеют диаметр 35 мм, а производства Ленинградского завода им. Кирова (ЛКЗ) — 32 мм. Они разбиты на 20 размерных групп через каждые 5 мкм.



1 — контргайка; 2 — регулировочный винт; 3 — пружина клапана; 4 — направляющая клапана; 5 — предохранительный клапан; 6 — гнездо предохранительного клапана; 7 — рычаг управления золотником; 8 — штуцер; 9 — перепускной клапан; 10 — гнездо перепускного клапана; 11 — нижняя крышка; 12 — пружина золотника; 13 — золотник; 14 — корпус; 15 — верхняя крышка; 16 — уплотнительное кольцо; 17 — направляющая втулка перепускного клапана; 18 — пружина перепускного клапана; 19 — шариковый клапан; 20 — бустер; 21 — толкатель; 22 — пружина бустера; 23 — обойма фиксатора; 24 — регулировочная гайка; 25 — верхняя опорная шайба пружины; 26 — шарик-фиксатор; 27 — втулка фиксаторов; 28 — пружина фиксаторов; 29 — нижняя опорная шайба пружины; 30 — стержень регулировочной гайки

Рисунок 1.3- Распределитель P150-B3

Распределители P150-B3 отличаются от распределителей P75-B3 конструкцией предохранительного клапана, конструкцией датчика автоматического возврата золотника, конструктивной особенностью корпуса и крышек распределителя.

Конструктивные отличия и особенности перечисленных выше узлов распределителя P150-B3 от распределителя P75-B3 состоят в следующем. Гнездо 6 предохранительного клапана в средней части по длине имеет круговую выточку, через которую подводится рабочая жидкость из

заклапанной полости перепускного клапана через сверление (перепускной канал), в корпусе распределителя и через сверления в гнезде 6 к клапану 5. Гнездо 6 завинчено в корпусе распределителя снаружи и уплотнено с двух сторон резиновыми кольцами, которые установлены с целью предотвращения утечек рабочей жидкости из кольцевой выточки гнезда наружу и в сливную полость распределителя.

Механизм фиксации и разгрузочные каналы золотника P150-B3 такие же, как и в золотнике P75-B3, но конструкция датчика устройства автоматического возврата сходна с конструкцией датчика распределителя P40/75. В осевое отверстие золотника запрессовано стальное гнездо, в котором имеется наружная кольцевая выточка и радиальные сверления для подвода рабочей жидкости из напорной полости распределителя к клапану 19. Клапан прижимается к отверстию в гнезде с помощью пружины бустера 22 через бустер 20 и толкатель 21.

Пружина бустера 22 снизу упирается на регулировочный винт-гайку 24, в отверстие которого входит регулировочный стержень 30, проходящий через втулку 27 фиксаторов и пружину 28.

Давление срабатывания автоматического возврата золотника составляет 10,5...12 МПа (105...120 кгс/см<sup>2</sup>) и достигается путем поворота регулировочного стержня 30, вращающего регулировочный винт-гайку и сжимающего пружину 28 фиксаторов. После регулировки стержень 30 стопорится шплинтом, который проходит через прорезь и пробку золотника. При этом стержень 30 может перемещаться в осевом направлении.

Под действием возрастающего давления рабочей жидкости в осевом канале золотника клапан 19 отходит от гнезда, а затем передвигается вниз бустер 20 и толкатель 21. Последний упирается в торец регулировочного стержня 30 и приводит в движение втулку 27 фиксаторов, сжимая пружину 28.

Втулка фиксаторов, сместившись вниз, освобождает шарики-фиксаторы 26, которые выйдут из обоймы, а золотник 13 под действием

пружины 12, сжатой между двумя стаканчиками, возвращается в нейтральное положение. Рабочая жидкость, прошедшая через зазор между золотником и бустером, сливается через отверстия в золотнике в сливную полость нижней крышки.

В корпусе 14 распределителя имеется восемь выводных отверстий и два напорных, в которых нарезана резьба М39Х15 мм для завертывания штуцеров, а также просверлены два сквозных отверстия, служащих для соединения полостей верхней и нижней крышек.

Корпус распределителя и обе крышки изготовлены из чугуна. Между корпусом и крышками проложены паронитовые прокладки для уплотнения разъемов. Нижняя крышка 11 имеет приливы с отверстиями для крепления распределителя, который устанавливается только в вертикальном положении.

Слив рабочей жидкости из распределителя происходит через одно из двух боковых прямоугольных отверстий в нижней крышке. Второе отверстие закрыто пластиной, которая закреплена на нижней крышке распределителя четырьмя болтами и уплотнена паронитовой прокладкой. В верхней крышке распределителя имеется также вывод, служащий для соединения с баком для рабочей жидкости при помощи специальной трубки.

Управление золотниками распределителя Р150-ВЗ помещается в верхней крышке и имеет осевое крепление рычагов управления, аналогичное конструкции этого узла распределителя Р75-ВЗ. Отличается от последнего тем, что отсутствуют пластинчатые пыльники, а каждый гофрированный пыльник прикрепляется к крышке с помощью отдельной круглой пластины и трех винтов, проходящих через соответствующие отверстия в пыльнике и пластине.

Распределитель трактора К-700 (конструкции ЛКЗ) отличается от распределителя трактора Т-100М тем, что корпус имеет несколько большую длину за счет наличия полостей, закрываемых специальной пластиной с паронитовым уплотнением и привернутой к корпусу шестью болтами. Диаметр золотника 32 мм. Распределитель Р150-ВЗ производства ЛКЗ с 1967

года имеет управление безосевой конструкции, аналогичное тому, которое используется в распределителе P75-B3-A.

Распределители P150-B3, установленные на тракторах Т-100М и К-700 промышленного назначения, не имеют датчиков устройства автоматического возврата золотников.

## **1.2 Причины нарушения работоспособности гидравлических распределителей**

Для изготовления прецизионных пар применяют высокосортные конструкционные материалы - золотник гидрораспределителя изготавливают из стали 15Х (цементация, закалка ТВЧ до HRC 56...63), корпус из серого чугуна марки СЧ21 ГОСТ 1412-79 твердостью 170...205 НВ [10] и высокие технологии с применением дорогостоящего металлорежущего оборудования и специальной оснастки, высокоточного контрольного и мерительного инструмента. Все это говорит о том, что технологический процесс производства золотниковых пар является дорогостоящим. Поэтому, развитие исследований надежности этих элементов, а также восстановление работоспособности путем применения современных технологий восстановления имеет важное значение.

В процессе работы золотник распределителя вследствие переменных нагрузок в процессе работы, возникают следующие дефекты:

- износ и отклонение геометрической формы;
- царапины и риски вдоль поясков;
- срыв резьбы.

На надежность гидравлических систем влияют [9]: совершенство конструкции гидроагрегатов, технологические факторы (качество изготовления), режим эксплуатации, рабочие жидкости, способы защиты и очистки рабочей жидкости от загрязнения, качество технического обслуживания, ремонта и хранения гидроагрегатов и др.

Конструкционные отказы обусловлены ошибками, допущенными при проектировании, нарушениями требований ГОСТ, занижением запасов прочности, ошибками в разработке принципиальных схем и конструкций устройств. Так, например, золотниковая пара имеет конструктивный недостаток [11], в результате которого при установке золотника в положение «подъем» шестой его пояска выходит из корпуса. Это приводит к перекосу золотника в отверстии и ускоряет износ деталей.

Производственные отказы вызываются нарушением технологии изготовления, не соблюдением требований конструкторской документации при изготовлении, применением некондиционных материалов и комплектующих элементов, недостаточным контролем качества в процессе производства.

Анализ конструкторской и технологической документации показал, что самое сложное, точное и наиболее трудоемкое при изготовлении соединение, определяющее долговечность работы гидрораспределителя - золотниковая пара. Допуск на диаметр отверстия корпуса и золотника гидрораспределителя типа Р-75-В составляет 0,004 мм при сохранении геометрических параметров (конусообразности, овальности, соосности) [12].

Конструктивные особенности отверстия корпуса под золотник: большое отношение длины к диаметру (105/25 4); прерывистый характер (в виде поясков) отверстия по длине, все это создает определенные трудности при изготовлении и восстановлении прецизионных деталей. Диаметры отверстий корпуса и золотников обрабатывают с технологическим допуском 0,08 мм с последующей разбивкой на 20 размерных групп при внутригрупповом допуске 0,004 мм. Большое число размерных групп усложняет организацию комплектовки и сборки на заводе-изготовителе и затрудняет последующий ремонт гидрораспределителей.

Конструкционные и производственные отказы, как правило, выявляются в начальный период эксплуатации. Они могут быть выявлены также в процессе приработочных испытаний в заводских условиях.



Эксплуатационные отказы являются следствием нарушений условий работы, на которые рассчитан данный привод, не соблюдения оговоренных в технической документации правил эксплуатации, низкой квалификации обслуживающего персонала, естественного старения и изнашивания [13].

Загрязнение рабочей жидкости - одна из основных причин, снижающих такие важные качественные показатели гидроприводов, как ресурс, безотказность, а так же точность оценки их технического состояния. Не менее 60 % отказов гидропривода отечественных тракторов и сельхозмашин прямо или косвенно связано с загрязнением рабочих жидкостей из-за неудовлетворительного их хранения, транспортирования и заправки [8].

Так, если загрязнение минеральных масел при их производстве составляет 2-4% от уровня загрязненности в процессе эксплуатации, то загрязненность нефтепродукта при транспортировке от завода изготовителя до нефтебазы увеличивается до 14%, а в процессе хранения на нефтебазе - до 21% [2]. Загрязненность рабочей жидкости, заправляемой в емкость тракторов с учетом грязеемкости фильтрующего элемента, должна быть не выше 50 г/т, т.е. соответствовать ГОСТу 10577-63 [14].

Ресурс гидрораспределителей в лабораторных условиях значительно превосходит нормативную цифру 6000 моточасов. Ресурс же гидрораспределителей в эксплуатационных условиях, где загрязненность рабочей жидкости на один-два порядка выше, не может достичь 3000 моточасов [2].

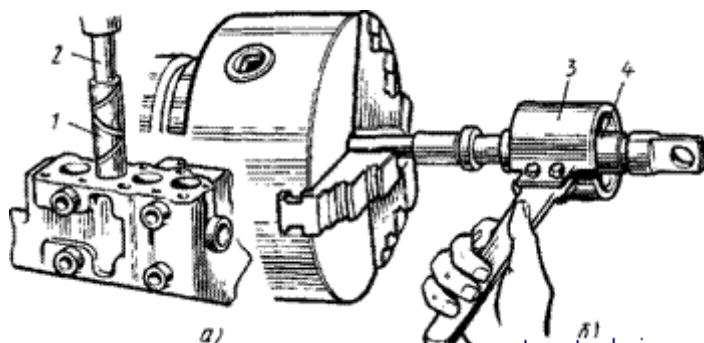
Исследованиями установлено, что загрязнение отечественных тракторных приводов в 4 раза выше зарубежных. Это связано, в частности, с недостаточно высокой эффективностью систем фильтрации и защиты гидропривода от загрязнений. Так, например, в общей стоимости гидропривода отечественных тракторов затраты на фильтры не превышают 1 %, в то время, как в Японии - 2,2%, ФРГ - 6,3%, Франции - 2,6%, Англии - 3,7%, а в США - 4,3% [4, 8].

Надежная работа распределителей обеспечивается своевременным устранением неисправностей при техническом обслуживании. Известно, что из-за неисправностей распределителей типа P75 и P150, вызванных главным образом внутренними и внешними утечками рабочей жидкости происходят 23-42% всех отказов гидросистем тракторов и сельхозмашин [2].

### 1.3 Способы ремонта гидрораспределителя и восстановления его основных деталей

Поступивший в ремонт распределитель подвергают внешнему осмотру, при котором проверяют его техническое состояние, надежность включения и удержания золотников в рабочих положениях.

При разборке распределителя не допускается обезличивать (разъединять): золотник с корпусом, перепускной клапан с направляющей, гильзу золотника с бустером.



а — притирка отверстия корпуса, б — притирка золотника: 1 — притир корпуса, 2 — оправка притира, 3 — державка притира, 4 — притир золотника  
Рисунок 1.4- Ремонт золотника и корпуса распределителя

Корпус распределителя бракуют, если трещины проходят через внутренние каналы.- Забоины и царапины на плоскостях прилегания верхней и нижней крышек корпусов распределителей не допускаются. Их устраняют шлифованием на плоскошлифовальном станке. Неплоскостность поверхностей допускается не более 0,07 мм, непараллельность плоскостей — не более 0,1 мм.

Изношенные отверстия в корпусе под золотники восстанавливают притиркой (рис. 133). Черновую притирку выполняют 28...30-микронной пастой до удаления следов износа при частоте вращения шпинделя 300...350 об/мин и числе двойных ходов притира 50...60 в минуту.

Чистовую притирку выполняют 5...7-микронной пастой и чистовым притиром, используя тот же режим обработки. Затем отверстия корпуса тщательно промывают, замеряют пневматическим ротаметром конусность и эллипсность, которые должны быть не более 0,004 мм. Царапины и чернота на притертых поверхностях не допускаются. На торцевой поверхности корпуса после определения размера отверстия наносят метку о размерности группы, чтобы правильно комплектовать золотники с отверстиями в корпусе.

Изношенные золотники шлифуют на шлифовальном станке до выведения следов износа, хромируют и шлифуют под ремонтный размер.

Золотник распределителя собирают после подбора его к соответствующему отверстию корпуса распределителя и устанавливают так, чтобы одно из разгружающих отверстий, просверленных в верхних уплотнительных поясах, было направлено в сторону перепускного клапана.

В собранном распределителе проверяют легкость включения и надежность удержания золотников в положениях «Подъем», «Опускание» и «Плавающее».

Золотники при переключении из зафиксированного положения в нейтральное должны возвращаться под действием пружины автомата.

Для каждой отремонтированной золотниковой пары утечка масла не должна превышать 2...3 см<sup>3</sup>/мин, допустимая утечка (для распределителя, находящегося в эксплуатации)— 10...11 см<sup>3</sup>/мин. Температура масла при проверке должна быть 45...55° С, давление срабатывания предохранительного клапана — 13...13,5 МПа. Если давление будет больше или меньше указанного, то клапан следует отрегулировать при подаче масла насосом не менее 20 л/мин. Срабатывание клапана автомата золотника должно быть

отрегулировано на давление 10,5...11,5 МПа. Утечка масла через перепускной клапан не допускается.

Основной причиной появления и развития технологии нанесения защитных покрытий явилось стремление повысить долговечность деталей и узлов различных механизмов и машин. В большинстве случаев оказывается достаточным упрочнить только рабочие поверхности, обеспечив этим повышение эксплуатационных свойств деталей и, как следствие, экономический эффект.

В зависимости от назначения к покрытиям могут предъявляться следующие требования: высокие адгезия и когезия, максимальная сплошность, равномерность по толщине, износостойкость, высокие коррозионная стойкость и жаростойкость, а также экономичность и технологичность самого процесса нанесения. К настоящему времени разработано около двухсот методов нанесения покрытий различного назначения из неорганических материалов. В качестве материалов покрытий широко используются металлы и их сплавы, керамика, тугоплавкие соединения и твердые сплавы на их основе, композиционные материалы и т.д.

Для создания защитных покрытий могут использоваться газотермические и вакуумные методы напыления, различные способы наплавки, электрохимическое осаждение, химикотермическая обработка [19 - 23].

Газотермическое напыление — это собирательное название группы методов получения покрытий распылением нагреваемого газовой струей до полного либо частичного расплавления порошкового материала. В зависимости от источника энергии различают газопламенный, плазменный, детонационный и электродуговой методы. Достоинством газотермических методов является высокая скорость формирования покрытия, возможность обработки крупногабаритных изделий. К недостаткам можно отнести

пористость покрытия, недостаточную адгезию, необходимость защиты поверхности, не подлежащей обработке.

Вакуумные методы конденсационного напыления покрытий подразделяются на физические и химические. Физическое осаждение из паровой фазы (Physical Vapor Deposition - PVD) объединяет методы формирования покрытия в результате протекающих физических процессов на границе поверхность - пар. К данной группе методов относятся: термическое испарение, ионное распыление, ионное осаждение, активированное реакционное испарение, ионно-лучевое модифицирование.

Метод ионного распыления заключается в бомбардировке ионами газоразрядной плазмы мишени из наносимого материала и осаждения распыленных частиц на поверхность изделий.

При ионно-лучевом модифицировании происходит очистка поверхности подложки в результате бомбардировки пучками ионов. Облучение в процессе осаждения дает возможность целенаправленно изменять его химический состав и структурно-фазовое состояние.

Химическое осаждение из паровой фазы (Chemical Vapor Deposition - CVD) -метод нанесения покрытий путем конденсации на подложке продуктов химических реакций, протекающих в газах, и (или) путем химического взаимодействия между газовой фазой и подложкой.

Достоинством вакуумных методов нанесения покрытий является возможность управления скоростью осаждения в широком диапазоне, возможность вводить в металлическую матрицу высокодисперсные частицы упрочняющей фазы с равномерным их распределением по объему, разнообразие составов осаждаемого материала, чистота наносимого материала, качество поверхности. Недостатками являются: дороговизна оборудования, высокие требования, предъявляемые к подготовке поверхности, недостаточная адгезия при осаждении покрытий толщиной более 10 мкм.

Наплавка — метод, при котором покрытие образуется вследствие затвердевания жидкой ванны, возникшей как результате расплавления наносимого материала и материала обрабатываемого изделия от внешнего источника энергии. По источникам теплоты наплавку покрытий подразделяют на дуговую, плазменную, газопламенную, светолучевую, электроннолучевую, индукционную и электрошлаковую. Электроискровое легирование и терморекреационное электроискровое упрочнение также относятся к данной группе методов. В целом методы наплавки высокоэффективны, обеспечивают высокую адгезию, используются не только для нанесения покрытий, но и для восстановления изношенных поверхностей, давая при этом высокий экономический эффект. К недостаткам можно отнести наличие протяженной зоны термического влияния, высокую шероховатость поверхности.

Электрохимическое осаждение заключается в осаждении металла на изделие в результате реакции восстановления металла из соединения под действием электрического тока. Различают следующие электрохимические способы нанесения покрытий: из водных растворов, из расплавов солей, из органических соединений. Наибольшее распространение получило хромирование, никелирование, меднение, цинкование, кадмирование. Главные преимущества электрохимических методов перед газофазными - возможность регулирования химических реакций наложением электрического поля и более равномерный нагрев обрабатываемого изделия в жидкой среде. Однако существуют трудности создания смесей заданного состава для осаждения сплавов, кроме того, выбор исходного соединения определяется его растворимостью в соли-растворителе. Недостатком многих электролитических покрытий является наличие трещин и пор.

Широкое применение получил метод химико-термической обработки, при котором в результате диффузии происходит изменение химического состава, микроструктуры и свойств поверхностных слоев деталей. Наиболее распространены следующие виды химико-термической обработки:

цианирование, диффузионная металлизация (хромирование, титанирование, силицирование и др.).

Таким образом, выбор оптимального метода обработки зависит от большого количества факторов, таких как определенные требования к эксплуатационным свойствам изделий, их стоимость, размеры, количество деталей подлежащих обработке, требования к качеству поверхностного слоя.

Несмотря на большое количество существующих методов упрочнения, должны быть четко определены границы применения каждого из них. Так, в источнике [24] приведена номенклатура деталей машин, которые были упрочнены (восстановлены) различными методами. Большое преимущество при выборе метода нанесения покрытия дает возможность автоматизации процесса.

Метод ЭИЛ обладает рядом достоинств, определяющих его успешное использование для решения производственных проблем:

- возможность локального формирования покрытий в строго указанных местах радиусом от долей миллиметра и более, не защищая при этом остальную поверхность;
- высокая адгезия электроискрового покрытия с основным материалом;
- отсутствие нагрева и деформаций изделия в процессе обработки;
- возможность использования в качестве электродов большинства токопроводящих материалов как из чистых металлов, так и их сплавов, композиций;
- сравнительная простота технологии, не требуется специальной предварительной обработки поверхности;
- высокая надежность оборудования и простота его обслуживания, оно малогабаритное и ремонтпригодное;
- низкая энергоемкость ручных и механизированных процессов ЭИЛ (0,3 2,0 кВт);
- высокий коэффициент переноса электродного материала (60...80%).

Известен способ ремонта гидрораспределителей, заключающийся в алмазном хонинговании отверстий корпусов под ремонтный размер, хромировании золотников с последующим шлифованием, шлифовке гнезда клапана до образования острой кромки отверстия, выведении механообработкой следов износа уплотняющей конусной поверхности клапана и притирки клапана к гнезду до образования блеска на притираемых поверхностях.

Недостатком указанного способа является то, что хромирование, как способ восстановления изношенных поверхностей, является сравнительно дорогостоящим из-за большего расхода электроэнергии, времени и дефицитности электролита, процесс хромирования трудоемкий и экологически опасный. Твердость уплотняющей конусной поверхности клапана после выведения следов износа составляет HRC 43-51, что в среднем ниже, чем у новых на 22%. Ресурс гидрораспределителей отремонтированных вышеуказанным способом не превышает 60-70% от ресурса нового.

Известен способ восстановления соединений деталей типа «золотниковая пара» гидрораспределителей, заключающийся в восстановлении отверстий из чугуна медью методом электроискровой обработки с последующей механообработкой и нанесением на поверхность золотников слоя из низко- или среднеуглеродистой стали методом электроискровой обработки в механизированном режиме с последующей укаткой и притиркой поясков золотников и нанесением на них методом финишной антифрикционной безабразивной обработки пленки из латуни (RU № 2293641, МПК 7 C23C 4/12, 26/00, опубл. 20.02.2007).

В известном способе не учитывается возможность повышения ресурса деталей клапанного узла, входящего в конструкцию гидрораспределителя и в равной степени определяющего его ресурс.

Повышение межремонтного ресурса гидрораспределителя за счет изменения физико-механических свойств уплотняющей конусной



поверхности клапана достигается тем, что в способе ремонта гидрораспределителей, включающем обработку золотниковых отверстий алмазной разверткой до выведения следов износа по наиболее изношенному пояску, нанесение на рабочие пояски золотников слоя из низко- или среднеуглеродистой стали методом электроискровой обработки в механизированном режиме, последующую укатку и притирку рабочих поясков золотников, нанесение на них методом финишной антифрикционной безабразивной обработки пленки из латуни, шлифовку гнезда клапана до образования острой кромки отверстия, выведение механообработкой следов износа уплотняющей конусной поверхности клапана, притирку клапана к гнезду до образования блеска на притираемых поверхностях, уплотняющую конусную поверхность клапана после удаления следов износа упрочняют электродом из твердого сплава методом электроискровой обработки на установке с энергией разряда 0,13-1,66 Дж.

Способ осуществляют следующим образом. Изношенные золотниковые отверстия корпуса гидрораспределителя разворачивают алмазной разверткой до выведения следов износа по наиболее изношенному пояску. На поверхность поясков золотников наносят слой из низко- или среднеуглеродистой стали методом электроискровой обработки в механизированном режиме на установке с энергией разряда 0,81-1,66 Дж, подачей электрода 0,2-0,4 мм/об и частотой вращения золотника 8-16 об/мин. После нанесения слоя металлопокрытия на пояски золотников предварительно чугуном притиром снимают верхний слой, представляющий собой окислы и фрагменты застывшего металла, затем поверхности поясков укатывают при частоте вращения золотника 400-500 об/мин, подаче 0,2-0,4 мм/об и удельном давлении укатывающего шарика  $50 \text{ кгс/см}^2$ . После этого золотник чугуном притиром подгоняют под отверстие до обеспечения зазора в паре 8-10 мкм. На подготовленные пояски золотника наносят пленку из латуни методом финишной антифрикционной безабразивной обработки, подавая в зону обработки активирующую

жидкость, состоящую из 8-10 частей кислоты соляной технической и глицерина. Гнездо клапана шлифуют до образования острой кромки отверстия, механообработкой удаляют следы износа на уплотняющей конусной поверхности клапана и упрочняют ее электродом из твердого сплава методом электроискровой обработки на установке с энергией разряда 0,13-1,66 Дж. Затем клапан притирают к гнезду до образования блеска на притираемых поверхностях.

Заявляемые пределы режимов упрочнения обосновываются требованиями производительности процесса нанесения покрытия его толщиной, сплошностью и шероховатостью.

Снижение энергии разряда менее 0,13 Дж увеличивает время обработки поверхности и не позволяет получить требуемую толщину покрытия. Увеличение энергии разряда выше 1,66 Дж ограничено техническими характеристиками электроискровой установки, снижением сплошности покрытия до 60% и увеличением параметра шероховатости  $R_a$  выше значения 6,3 мкм.

Исследование заявленных режимов упрочнения осуществляли на электроискровой установке «Элитрон-22Б» в ручном режиме с использованием блока высокочастотной вибрации АГ-2.

Длительные эксплуатационные испытания показали, что межремонтный ресурс новых гидрораспределителей составляет 3200-4100 моточасов, гидрораспределителей отремонтированных без упрочнения конусной уплотняющей поверхности клапана 4800-5200 моточасов и гидрораспределителей отремонтированных с упрочнением конусной уплотняющей поверхности клапана 5800-6650 моточасов. Разброс значений межремонтного ресурса исследуемых гидрораспределителей обусловлен различными условиями эксплуатации.

Известно устройство для электроискрового легирования, содержащее источник питания и станок с узлом вращения детали и горизонтальным механизмом позиционирования, состоящим из узлов продольного и

поперечного перемещения головки с вращающимся электродом-инструментом, установленным на каретке (Патент РФ №2146581, В23Н 9/00, опубликовано 2000.03.20).

Недостатком известного устройства является низкое качество получаемых поверхностей.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является устройство для электроискрового легирования, содержащее источник питания, привод перемещения детали, механизм позиционирования, состоящий из узлов продольного и поперечного перемещения головки с вращающимся электродом-инструментом, установленным на каретке, и механизм механической обработки покрытия в виде диска, который имеет общую ось с электродом-инструментом (Патент РФ №2101145, В23Н 9/00).

Основным недостатком устройства является невысокое качество получаемого покрытия, так как механическая обработка выполняется пластическим деформированием нанесенного слоя, осуществляемым торцевой поверхностью диска, на который накладывают ультразвуковые колебания.

Для повышения производительности и качества получаемого покрытия в устройстве для электроискрового легирования, содержащем источник питания, привод перемещения детали, механизм позиционирования, состоящий из узлов продольного и поперечного перемещения головки с вращающимся электродом-инструментом, установленным на каретке, и механизм механической обработки покрытия в виде диска, который имеет общую ось с электродом-инструментом, согласно изобретению диск выполнен в виде абразивного инструмента, который установлен с возможностью вращения вокруг своей оси, при этом абразивный инструмент имеет кольцевую рабочую поверхность, а электрод-инструмент проходит через диск и расположен внутри кольцевой рабочей поверхности.

Выполнение диска в виде абразивного инструмента, который устанавливается с возможностью вращения вокруг своей оси, повышает скорость обработки детали (следовательно, производительность) и качество получаемого покрытия за счет интенсивного взаимодействия абразивного инструмента с поверхностью обрабатываемой детали по линейному контакту.

Выполнение абразивного инструмента с кольцевой рабочей поверхностью обеспечивает необходимое время затвердевания переносимых частиц материала электрода-инструмента до начала их механической обработки за счет нахождения частиц во внутреннем пространстве кольцевой поверхности.

Выполнение электрода-инструмента проходящим через диск и внутри кольцевой рабочей поверхности позволяет реализовать заявляемое устройство с повышением производительности и качества получаемого покрытия.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на рис.1 показана схема работы устройства для электроискрового легирования на вращающейся поверхности.

Устройство содержит источник питания (не показан), привод 1 перемещения (например, вращения, см. фиг.1) детали 2 и механизм позиционирования (известной конструкции), состоящий из узлов продольного и поперечного перемещения головки с вращающимся электродом-инструментом 3, установленным на каретке, и механизма обработки покрытия, выполненный в виде абразивного инструмента - диска 4, который установлен с возможностью вращения вокруг своей оси. Ось вращения электрода-инструмента 3 имеет общую ось с диском 4. При этом электрод-инструмент 3 проходит через диск 4 и расположен внутри кольцевой рабочей поверхности 5. Вращение диска 4 осуществляют приводом известной конструкции (не показаны).

Устройство работает следующим образом.

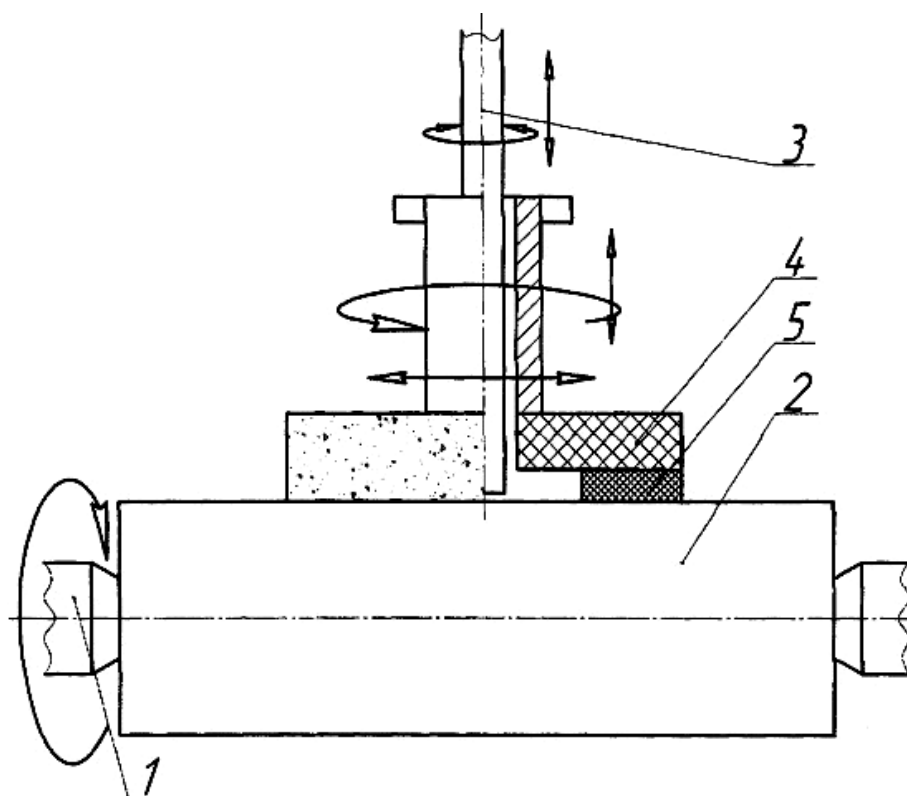


Рисунок 1.5 –Схема обработки по патенту RU2334603

После включения устройства в сеть через источник питания приводится в движение механизм позиционирования, который посредством каретки выводит головку с вращающимся электродом-инструментом 3 на вращающуюся деталь 2, см. фиг.2 (либо на плоскую деталь 2 с поступательным движением, см. фиг.2). По достижении необходимого межэлектродного расстояния до поверхности детали 2 происходит полярный перенос материала электрода-инструмента 3 под действием электрического разряда. Затем электрода-инструмент 3 начинает движение от детали 2, на поверхности которой остается прочно с ней соединенный слой материала электрода-инструмента. Одновременно кольцевая рабочая поверхность 5 касается полученного покрытия детали 2 и посредством вращения обрабатывает легированный слой. Режим работы устройства устанавливают экспериментально из условий обеспечения высокой прочности сцепления легированного слоя с деталью 2 и необходимой шероховатостью

поверхности обрабатываемой детали 2 посредством абразивного инструмента - диска 4. Из-за наличия кольцевой рабочей поверхности 5 обеспечивается необходимое время затвердевания переносимых частиц материала электрода-инструмента 3 (за счет нахождения их внутри кольца) перед локальной механической обработкой абразивным инструментом, что повышает производительность и качество поверхности.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет повысить производительность и качество получаемого покрытия за счет интенсификации процесса нанесения, механической обработки легированного покрытия и выбранного конструктивного решения.

Известны устройства для электроискрового легирования, содержащие вибратор и генератор для создания импульсов технологического тока, питания обмотки вибратора, блока контроля и управления процессом (см. авт. св. СССР №837715, 1323268).

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является устройство содержащее источник питания, вибратор и генератор, электрическая схема которого содержит накопительную емкость, электронный зарядный ключ, выполненный на основе двух транзисторов и транзисторного модуля, элементы управления транзисторным ключом, разрядный тиристор с элементами управления им, блок синхронизации вибратора и генератора импульсов (см. Паспорт на установку ЭЛИТРОН-22, АИИЗ 299 167 ПС, Кишинев, 1986, копия принципиальной электрической схемы установки прилагается).

Основными недостатками известного устройства являются:

- усложненная электрическая схема,
- невысокая надежность и стабильность работы,
- высокие энергозатраты на процесс легирования,
- невысокий коэффициент полезного действия.

В основу изобретения положена задача создания устройства для электроискрового легирования со значительно упрощенной электрической

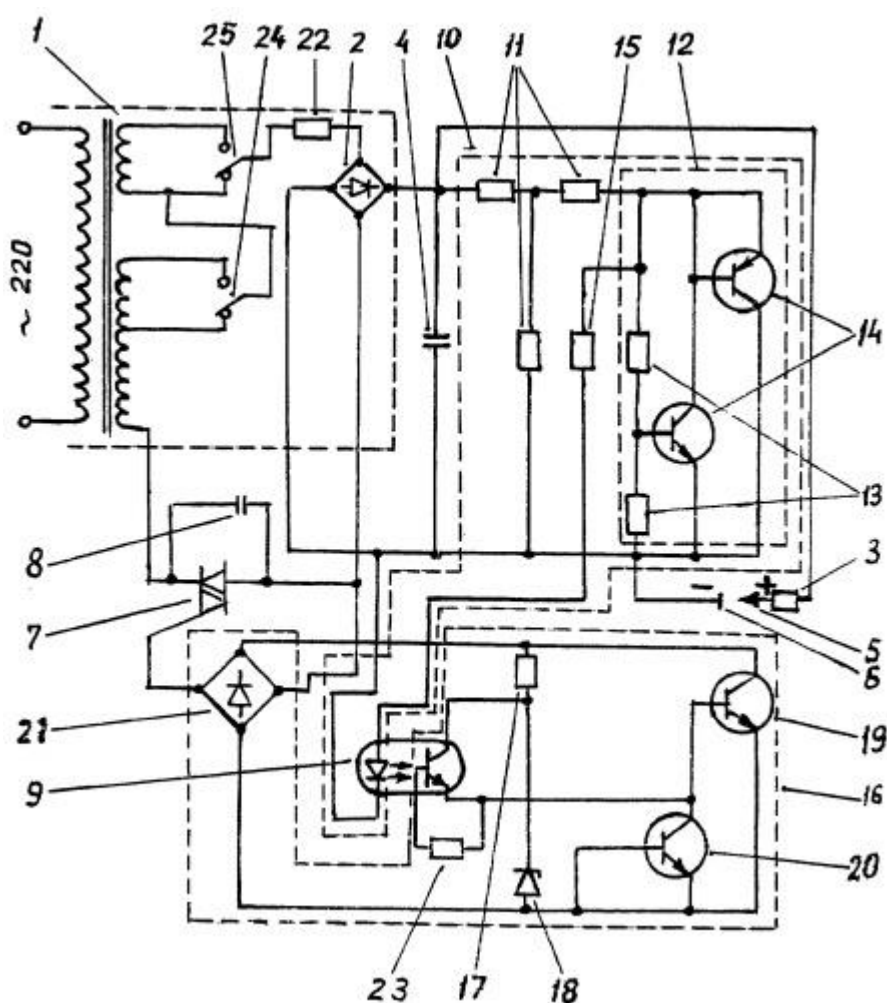
схемой, высокой надежности и стабильности в работе, меньшими удельными энергозатратами, более высокой производительностью, коэффициентом полезного действия.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для электроискровой обработки, содержащем источник питания, накопительную емкость с зарядно-разрядной цепью, включенную параллельно электродам, блок управления работой устройства и вибратор, согласно изобретению в зарядную цепь введен симистор, а блок управления им состоит из оптопары и двух узлов управления, при этом первый узел управления введенный в разрядную цепь накопительной емкости содержит делитель в виде резисторов, транзисторы и связан с диодом оптопары, а второй узел управления симистором выполнен в виде цепи из выпрямителя, транзисторов, стабилизатора и резистора связанный с транзистором оптопары

Преимущество предлагаемого устройства заключается в том, что благодаря предложенной схеме, в которой использован симистор, включенный в зарядную цепь накопительной емкости, а также благодаря выполнению узлов управления симистором после накопительной емкости, обеспечивающих синхронную работу коммутирующих элементов в оптимальной последовательности по сигналу с рабочего электрода при разных режимах обработки, значительно упрощена электрическая схема, уменьшены вес и габариты установки, улучшена технологичность изготовления, повышен КПД установки и снижены удельные энергозатраты на процесс.

Эти преимущества достигнуты за счет уменьшения количества электронных и механических деталей, в том числе за счет исключения сложного электронного ключа на транзисторах, электромагнитных, реле в узлах управления. Кроме этого, исключение электромеханических элементов, имеющих невысокие характеристики надежности, позволит улучшить стабильность и надежность работы устройства в целом. Предлагаемое

Устройство содержит источник питания - силовой трансформатор 1 с выпрямителем 2, вибратор 3, накопительную емкость 4 с зарядно-разрядной цепью, включенную параллельно электродам 5 и 6. В зарядную цепь емкости 4 введен симистор 7 с конденсатором подпитки 8. Блок управления состоит из оптопары 9 и двух узлов управления.



Разрядная цепь емкости 4 соединена с вибратором 3. Первый узел управления 10, введенный после накопительной емкости 4, содержит делитель в виде резисторов 11, схемы стабилизации напряжения 12,



собранной из резисторов 13 и транзисторов 14, предназначенной для обеспечения нормальной работы оптопары 9. Диод оптопары 9 запитывается с выхода схемы стабилизации напряжения 12 через резистор 15. Второй узел управления 16 транзистором оптопары 9 выполнен в виде резистора 17 и стабилизатора 18, дополнительно содержит транзистор 19 и транзистор 20, который находится в открытом состоянии в течение всего полупериода напряжения и запирается на короткий отрезок времени, когда напряжение, снимаемое с выпрямителя 21, близко к нулю. Резистор 22 является компенсатором коротких всплесков тока вторичной обмотки, резистор 23 обеспечивает работу оптопары 9. Тумблеры 24 и 25 позволяют управлять напряжением, подаваемым на выпрямитель 2.

Устройство работает следующим образом.

При включении устройства в сеть на вторичных обмотках трансформатора 1 наводится ЭДС. При этом анод и управляющий электрод симистора 7 находится под потенциалом вторичной обмотки вследствие протекания тока зарядки через конденсатор 8. Величина этого напряжения зависит от положения тумблеров 24 и 25. Одновременно с этим ток, протекающий через выпрямитель 21 и включенный параллельно резистор 17 и стабилизатор 18, является достаточным для отпирания симистора 7. Накопительная емкость 4 через выпрямитель 2 заряжается до напряжения, определяемого положением тумблеров 24 и 25. Напряжение с накопительной емкости 4 через делитель 11 поступает в схему стабилизации напряжения 12. При этом транзистор оптопары 9 открывается и напряжение, снимаемое с резистора 17 и стабилизатора 18, поддерживает транзистор 19 в открытом состоянии, что приводит к устойчивому отпиранию симистора 7. При касании электродов 5 и 6 происходит разряд накопительной емкости 4 и массоперенос. Напряжение в накопительной емкости 4 падает до нуля. С выхода схемы стабилизации через диод оптопары 9 прекращает течь ток и транзистор оптопары запирается. При этом запирается транзистор 19, что ведет к разрыванию цепи анод - управляющий электрод симистора 7, а

значит и к обесточиванию выпрямителя 2, что устраняет ток короткого замыкания во вторичной обмотке трансформатора 1. В момент отрывания электродов 5 и 6 друг от друга процесс заряда накопительной емкости повторяется. Транзистор 20 включает симистор 7 в момент перехода переменного напряжения через ноль, что значительно снижает наводимые электрические помехи. Резистор 22 используется для компенсации коротких всплесков тока короткого замыкания вторичной обмотки трансформатора 1, которые возникают вследствие переходных процессов в цепи обратной связи и конечного быстродействия.

Известен способ электроискрового нанесения покрытий из бронзы . При данном способе между поверхностью обрабатываемой детали (катодом) и легирующим электродом (анодом) пропускают короткие по длительности импульсы электрического тока  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  с. Под воздействием электрического поля и электрических сил, возникающих в разряде, размягченные и расплавленные микрообъемы металла переносятся с анода на катод, формируя слой покрытия. Данный способ осуществляется вручную с помощью специальных электромагнитных вибраторов.

Существенным недостатком данного способа является неравномерность толщины покрытия и низкая производительность процесса.

Известен способ электроискрового нанесения покрытия на внутреннюю и внешнюю поверхность цилиндрических деталей в виде втулок, включающий размещение электрода над обрабатываемой поверхностью детали, сообщение электроду и детали вращения каждому вокруг своей оси, сообщение поступательного перемещения электроду, подачу импульсов электрического тока на электрод и подачу в зону обработки инертного газа (RU 2196665 C1, МПК В23Н 9/00). В качестве материала для электрода - анода используется бронза БрАЖМц10-3,5-1,5, которая обеспечивает снижение коэффициента трения в деталях, работающих в условиях трения скольжения.

При отмеченном способе интенсивность процесса электроискрового легирования определяется величиной энергии, выделяющейся в межэлектродном промежутке. Уменьшение энергии в импульсе приводит к снижению толщины слоя покрытия, получаемого в единицу времени на единице площади обрабатываемой поверхности.

Существенным недостатком данного способа электроискрового нанесения покрытия из бронзы на детали из углеродистых и низколегированных сталей является неравномерная сплошность покрытия, а также существенная его нестабильность по толщине. Наряду с участками поверхности детали с толщиной покрытия 16-21 мкм встречаются участки поверхности, где покрытие практически полностью отсутствует. Кроме того, использование в качестве материала покрытия бронзы БрАЖМц10-3,5-1,5 приводит к снижению малоциклового усталости деталей из стали 30ХГСА (30ХГСН2А, ЭП817). При использовании в качестве материала покрытия антифрикционной бронзы, содержащей фосфор, ВБр5М (БрМцФ-3-6) отмечается интенсивное окисление фосфора и образование черного налета. Поэтому нанесение бронзы ВБр5М, которая не вызывает снижение малоциклового усталости деталей из стали типа 30ХГСА, не привело к существенному улучшению качества и сплошности покрытия.

Техническим результатом заявляемого способа нанесения бронзового покрытия на детали из стали типа 30ХГСА является повышение сплошности покрытия и снижение шероховатости поверхности деталей после обработки.

Сущность заявляемого способа электроискрового нанесения покрытий на основе бронзы на детали из углеродистых сталей поясняется чертежами: на рис. 1.7 приведена схема осуществления процесса. Нанесение покрытия из бронзы, содержащей в своем составе фосфор, в соответствии с заявляемым способом осуществляется в следующей последовательности (рис.1.7): деталь 1 в виде втулки из стали закрепляют с возможностью вращения относительно ее оси с частотой  $\omega_1$ . Над обрабатываемой поверхностью детали 1 размещают электрод 2 из материала наносимого покрытия. Электрод 2 зафиксирован с

возможностью вращения относительно его оси с частотой  $\omega_2$ . Электрод 2 и деталь 1 соединяют в общую электрическую цепь. От генератора электроискровых импульсов на электрод 2 подают импульсы электрического тока. Электрод 2 и деталь 1 при этом вращают вокруг своих осей с частотами соответственно  $\omega_2$  и  $\omega_1$ .

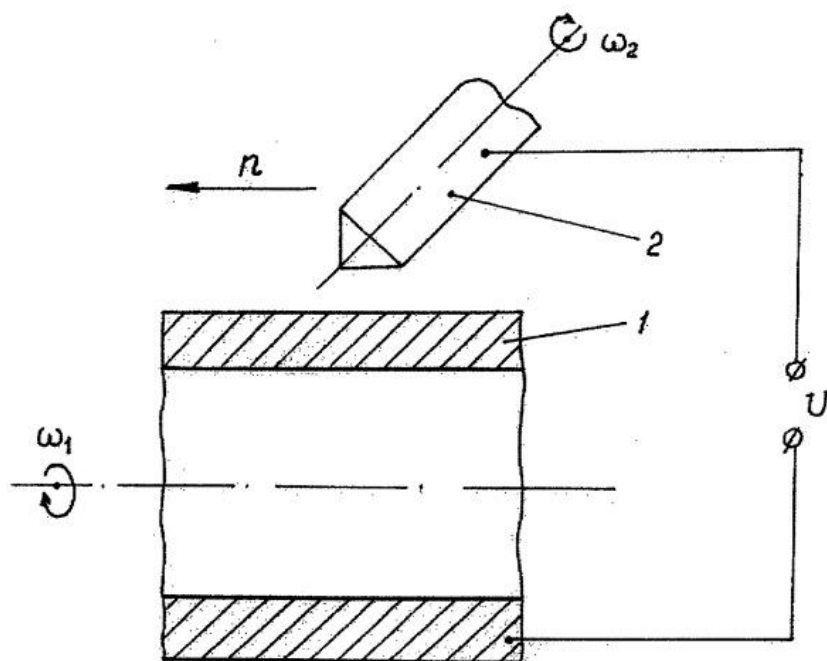


Рисунок 1.7- Схема устройства по патенту RU 2323070

После того как деталь 1 совершит полный оборот, включают поступательное перемещение  $n$  детали 1 вдоль ее оси, т.е. деталь 1 смещается относительно электрода 2.

Сплошность покрытия существенно зависит от величины продольной подачи детали. При величине подачи в диапазоне 1,10-1,15 мм/об образуется покрытие с равномерной толщиной. При снижении продольной подачи детали менее 1,10 мм/об происходит формирование регулярных образований в виде конуса с высотой, соответствующей средней толщине покрытия, и наличием участков с уменьшенной толщиной слоя бронзы. В этом случае отмечается рост шероховатости обработанной поверхности. При увеличении продольной подачи детали 1 более 1,15 мм/об формируются участки, где на поверхности детали полностью отсутствует покрытие. Поэтому

оптимальным следует считать диапазон величины продольной подачи детали 1,10-1,15 мм/об.

Отличительной особенностью заявляемого способа является то, что при нанесении бронзовых покрытий, содержащих в своем составе фосфор, зону обработки защищают от окисления потоком аргона, подаваемым через сопло 3, которое установлено соосно электроду 2. Качество газовой защиты зоны обработки зависит от расхода инертного газа (аргона). При расходе аргона менее 0,9 л/мин наблюдается интенсивное окисление фосфора и образование черного налета на поверхности, обрабатываемой детали. Увеличение расхода аргона до 0,9-2,0 л/мин способствует формированию слоя покрытия без видимых следов окисления фосфора. Слой бронзового покрытия на поверхности детали в виде втулки из стали 30ХГСА имеет светло-золотистый оттенок. Дальнейшее увеличение расхода инертного газа аргона более 2,0 л/мин нецелесообразно, так как не дает существенных преимуществ по качеству наносимого покрытия.

В случае нанесения покрытия на детали малого диаметра, когда диаметр детали 1 меньше диаметра выходного отверстия сопла 3, для улучшения защиты зоны электроискрового разряда от доступа воздуха с противоположной относительно сопла стороны устанавливают дополнительный экран 4.

При нанесении бронзовых покрытий на детали из стали типа 30ХГСА по заявляемому способу в процессе обработки производят контролирование числа рабочих импульсов электрического тока в секунду. Кроме того, число рабочих импульсов электрического тока задают в пределах  $(0,78-0,85)N$ , где  $N$  - число рабочих импульсов электрического тока в секунду при осуществлении процесса без защиты инертным газом (на воздухе). При числе рабочих импульсов электрического тока в секунду менее  $0,78N$  имеет место снижение толщины и ширины слоя покрытия, наносимого за один проход. В случае увеличения количества рабочих импульсов электрического тока в секунду более  $0,85N$  существенно возрастает толщина покрытия, наносимого

за один проход. Однако одновременно увеличивается шероховатость обрабатываемой поверхности при попадании оплавленных частиц металла в материал покрытия. Данное явление существенно ухудшает качество наносимых покрытий в отношении их трибологических показателей (коэффициента трения).

Количество проходов при нанесении покрытия устанавливают в соответствии с общей толщиной покрытия.

Заявляемый способ был опробован при электроискровом нанесении слоя бронзы на внешнюю поверхность цилиндрических втулок из стали 30ХГСА диаметром 60 мм. На поверхность втулки наносили покрытие из бронзы марки ВБр5М. Для нанесения слоя бронзы применяли модернизированную установку ЕЛФА-512М.

В качестве электрода использовали прутки из бронзы ВБр5М диаметром 3 мм и длиной 35 мм. Шероховатость электрода в зоне контакта с цангой установки ЕЛФА-512М составляла 2,0-2,3 мкм. Рабочий конец электрода затачивали на конус с углом при вершине 60-65°. Электрод перед началом процесса нанесения бронзового покрытия размещали так, что его ось составляла с осью обрабатываемой втулки угол 30-33°. Перед нанесением бронзового покрытия поверхность втулки подвергали размерной обработке и алмазному выглаживанию.

Емкость батареи конденсаторов установки ЕЛФА-512М составляла 90 мкФ, ток заряда конденсаторов - 1,4 А. Число оборотов электрода в процессе нанесения покрытия варьировалось в пределах 980-1000 об/мин, а число оборотов обрабатываемой детали - 2,5-2,6 об/мин.

#### **1.4 Краткие выводы. Цель и задачи исследований**

Исходя из проведенного обзора и анализа состояния вопроса можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего момента нет единого мнения о преобладающем виде изнашивания лемеха и закономерности изнашивания деталей гидрораспределителя, в частности золотника.
2. Ресурс золотника можно существенно повысить путем электроискровой обработки.
3. Для улучшения приработки золотниковых пар и уменьшения их износа после искрового наращивания можно нанести слой из медьсодержащих сплавов методом натирания – латунирования.

Целью данной работы является исследование процесса электроискрового наращивания с последующим латунированием золотника и обоснования ее параметров.

Исходя из указанной цели исследования, его основными задачами являются:

1. Провести микрометраж партии изношенных золотников для определения теоретического закона распределения износа.
2. Провести теоретические исследования по определению параметров процесса электроискрового наращивания с последующим латунированием.
4. Разработать методику и провести экспериментальные исследования по определению рациональных значений параметров обработки.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Электроискровое легирование (наплавка)

Электроискровое легирование (наплавка) позволяет нанести прочно сцепленный с легируемой поверхностью слой покрытия, у которого в результате диффузии элементов отсутствует граница раздела между нанесенным материалом и материалом основы.

В основе процесса электроискрового легирования используют явление электрической эрозии в газовой среде (в отличие от электроэрозионной обработки, которая осуществляется в жидкой среде).

Схема установки для электроискрового легирования представлена на рис. 2.1. Генератор униполярных импульсов 1 типа RC подключается к электродам, причем катодом служит легируемая поверхность детали 2, а анодом — заостренный легирующий электрод 3 [ ].

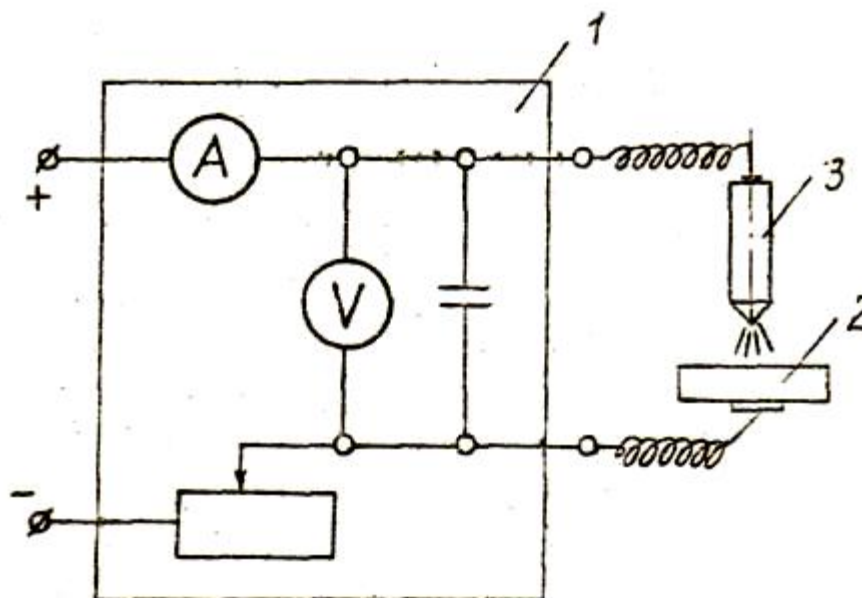


Рисунок 2.1- Схема установки для электроискрового легирования

В зависимости от параметров искрового разряда количество материала, выброшенного из анода и катода, может изменяться. При легировании обеспечивают условия, при которых выброс происходит преимущественно из анода. При каждом разряде с анода удаляется весьма малая частичка



материала, которая или является отходом (если процесс протекает в жидкой среде как при электроэрозионной обработке) или достигает поверхности катода и осаждается на ней. Такой эффект процесса электрической эрозии, осаждение на катоде выброшенных из анода частиц, используется при электроискровом легировании металлических поверхностей.

При прохождении между электродами одиночного электрического разряда на поверхности катода образуется лунка с краями, несколько приподнятыми над исходной поверхностью металла, что имеет место в результате деформации металла, расплавившегося в месте прохождения разряда. Материал, перенесенный с анода, располагается на вогнутой поверхности лунки. Размер лунки и качество перенесенного материала обусловлены энергией разряда.

При перемещении анода легируемая поверхность покрывается лунками, поверхности которых имеют в своем составе материал анода. В дальнейшем последующие разряды проходят через края лунок (наиболее выступающую часть поверхности). Металл, переносимый с анода “прилипает” (сплавляется, смешивается) к поверхности катода и образует слой брошенный из анода в виде расширяющегося пучка, попадает в межэлектродное пространство, разогретое прошедшим электрическим импульсом до температуры, при которой возможно существование вещества в ионизированном состоянии. Эти частицы ударяются о поверхность катода, также локально разогретую электрическим разрядом, вступают с ней во взаимодействие, образуя сплавы, твердые растворы или механическую смесь.

Эти микрометаллургические процессы протекают в отрезке времени, определяемые долями секунды, поэтому состав слоя и его физико-механические свойства часто существенно отличаются от свойств легирующего и легируемого материалов.

Качество материала, осаждаемого на легируемой поверхности, зависит от удельной продолжительности процесса, то есть от времени легирования единицы поверхности. На рис. 2.2 прямая линия 1 показывает, что в течение

всего времени легирования анод равномерно “подает” одинаковые порции материала. В первые минуты на катоде откладывается наибольшее количество материала (участок АВ кривой 2). В точке «В» максимума кривой 2 изменение массы катода не наблюдается, в этот момент времени количество материала, осевшего с анода, равно количеству материала, удаляемому с катода. В дальнейшем начинается обратный процесс, то есть на катоде осаждается материала меньше, чем выбрасывается за один импульс. Удельная продолжительность легирования, при которой наступает максимум покрытия, зависит от энергии единичного импульса и химического состава материалов электродов.

Наличие максимума в кривой свидетельствует о невозможности получения покрытий большой толщины. Обычно толщина покрытия при чистовом легировании составляет 50...80 мкм, при грубом — 100...200 мкм. Причины, ограничивающие толщину покрытия, пока полностью не выяснены.

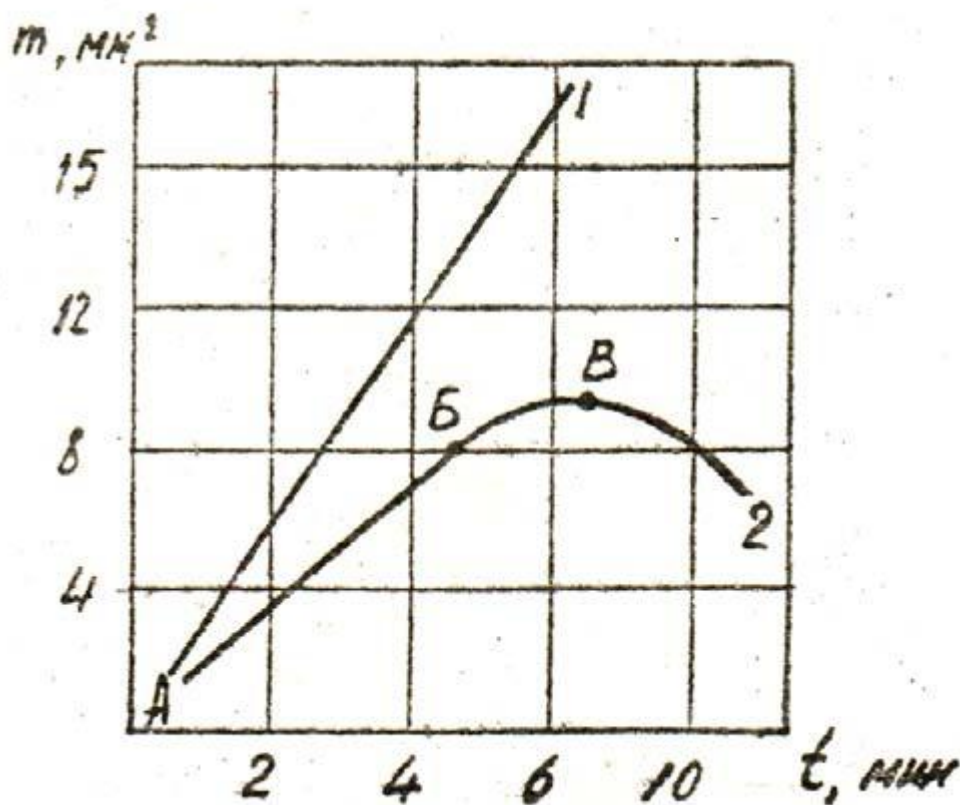


Рисунок 2.2- Зависимость количества материала, осаждаемого на легируемой поверхности от продолжительности процесса

Легирование рабочих поверхностей деталей машин, аппаратов, механизмов приборов и инструментов выполняется с целью: изменения твердости, пластичности, коэффициента трения, повышения жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости, снижения склонности к схватыванию при трении, освобождения от операций термообработки, подготовки поверхности к другим видам обработки (“вспенивание поверхности”, создание переходных слоев и т.д.), выполнение ремонтно-восстановительных работ.

Первой областью промышленного применения электроискрового легирования явилось упрочнение режущего инструмента. Упрочнению подвергают режущие грани резцов, фрез, пил для металла и дерева. В результате электроискрового легирования срок службы некоторых видов инструмента повышается в 20 раз.

Хорошо зарекомендовало себя электроискровое легирование для деталей цилиндрических и сферических подшипников скольжения в условиях сухого трения при высоких нагрузках и температурах, при работе как на воздухе, так и в вакууме. Электроискровые покрытия поверхностей трения хорошо работают в режиме “пуск—остановка—пуск” вследствие их пониженной склонности к схватыванию.

Электроискровое легирование применяется при ремонтных работах.

Возможность восстановления размеров изношенных поверхностей до номинальных размеров позволяет использовать детали без повторного шлифования их на ремонтный размер. Большое значение в ремонтном деле имеет то, что при электроискровом легировании можно восстановить закаленные детали без их повторной термообработки.

## **2.2 Расчет параметров процесса**

Расчет массы материала МТ, осаждаемого на катоде за время одного контакта электрода:

$$M_T = \frac{\left[ 0,44U_0^2 C \frac{R_A}{R_{\text{ц}}} - \frac{C_A m_A (t_H - t_0)}{f \tau_{\text{л}}} \right] \cdot (1 - \beta)}{C_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t_0) + L_{\text{п}} + \beta \cdot [C_{\text{и}}(t_{\text{и}} - t_{\text{п}}) + L_{\text{и}}]} \cdot n \cdot v, \quad (2.1)$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий массу расплавленного материала, оставшегося на аноде при размыкании электродов;  $v$  – коэффициент, учитывающий массу материала, потерянного на разбрызгивание и испарение при взрыве металлического мостика;  $\beta$  – коэффициент, характеризующий отношение между массой испарившегося и плавленого материала;  $C_{\text{п}}$  – удельная теплоемкость материала в процессе плавления, Дж/(кг·°C);  $C_{\text{и}}$  – удельная теплоемкость материала в процессе испарения, Дж/(кг·°C);  $t_{\text{п}}$  – температура плавления, °C;  $t_{\text{и}}$  – температура испарения, °C;  $L_{\text{п}}$  – теплота плавления, Дж/кг;  $L_{\text{и}}$  – теплота испарения, Дж/кг;  $C_A$  – удельная теплоемкость материала анода, Дж/(кг·°C);  $m_A$  – масса анода, кг;  $t_H$  – температура нагрева анода, °C;  $t_0$  – начальная температура анода, °C;  $f$  – частота подачи импульса тока, Гц;  $\tau_{\text{л}}$  – длительность обработки, с;  $R_{\text{ц}}$  – сопротивление цепи при контакте электродов, Ом;  $R_A$  – сопротивление электрода, Ом.

Используя работы В.М. Куляпина, коэффициент  $\beta$  можно представить в виде:

$$\beta = 0,405 \cdot \left\{ 1 - 2,5 \left[ \frac{L_{\text{п}} + C_{\text{п}} \cdot (t_{\text{п}} - t_0)}{L_{\text{и}} + C_{\text{и}} \cdot (t_{\text{и}} - t_{\text{п}})} \right] \right\}, \quad (2.2)$$

Диаметр лунки определяется:

$$D = \frac{\sqrt{\frac{m}{\pi \rho h}}}{2} \quad (2.3)$$

Площадь обрабатываемой поверхности определяется:

$$S_{\text{ЭИО}} = \pi \cdot d \cdot L \quad (2.4)$$

где  $d$  - диаметр детали, мм;

$\pi d$  - длина строки (длина окружности цилиндрической поверхности детали);

$L$  - длина детали, мм.

Шаг разрядов по строке:

$$S_p = d_l \cdot K_{\text{пер}}.$$

Коэффициент перекрытия лунок в строке должен быть равен коэффициенту перекрытия лунок между строками. Шаг по строкам (расстояние между центрами лунок двух соседних строк) определится:

$$S_{\text{стр}} = S_p = d_l \cdot K_{\text{пер}}, \quad (2.5)$$

Время между разрядами определится:

$$t_p = \frac{1}{f_u}, \quad (2.6)$$

где  $t_p$  - время между разрядами;

$f_u$  - частота следования искровых разрядов генератора ЭИН.

Количество разрядов в строке определится:

$$n_p = \frac{\pi \cdot d}{S_p} = \frac{\pi \cdot d}{d_l \cdot K_{\text{пер}}}, \quad (2.7)$$

Время прохождения одной строки определится:

$$t_{\text{стр}} = t_p \cdot n_p = \frac{\pi \cdot d}{d_l \cdot K_{\text{пер}} \cdot f_u} \quad (2.8)$$

Линейная скорость перемещения по строке при вращении детали определится:

$$v_{\text{вп}} = \frac{\pi \cdot d}{t_{\text{смп}}} = d_{\text{л}} \cdot K_{\text{нпр}} \cdot f_{\text{у}} \quad (2.9)$$

Количество строк определится:

$$n_{\text{смп}} = \frac{L}{S_{\text{смп}}} = \frac{L}{d_{\text{л}} \cdot K_{\text{нпр}}}, \quad (2.10)$$

10. Общее время легирования - время прохождения длины L при продольной подаче определится:

$$t_{\text{ЭИЛ}} = t_{\text{смп}} \cdot n_{\text{смп}} = \frac{\pi \cdot d}{f_{\text{у}} \cdot d_{\text{л}}^2 \cdot K_{\text{нпр}}^2} = \frac{f_{\text{у}}}{v_{\text{вп}}^2} \quad (2.11)$$

11. Удельное время легирования определится:

$$t_{\text{уд}} = \frac{t_{\text{ЭИЛ}}}{S_{\text{ЭИЛ}}} = \frac{1}{f_{\text{у}} \cdot d_{\text{л}}^2 \cdot K_{\text{нпр}}^2} = \frac{f_{\text{у}}}{v_{\text{вп}}^2} \quad (2.12)$$

Линейная скорость вращения детали определится:

$$v_{\text{вп}} = \sqrt{\frac{f_{\text{у}}}{t_{\text{уд}}}} \quad (2.13)$$

13. Скорость продольной подачи определится:

$$v_{\text{нп}} = \frac{L}{t_{\text{ЭИЛ}}} = \frac{L}{t_{\text{уд}} \cdot S_{\text{ЭИЛ}}} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot t_{\text{уд}}}, \quad (2.14)$$

Две последние формулы позволяют устанавливать значение линейной скорости вращения детали и скорости продольной подачи в зависимости от требуемого удельного времени легирования. При измерении частоты следования искровых разрядов в Гц, удельного времени легирования в

мин/см<sup>2</sup>, диаметра цилиндрической поверхности детали в мм эти формулы, определяющие режим обработки, имеют следующий вид:

$$v_{nn} = \frac{100}{\pi \cdot d \cdot t_{y\partial}}, \text{ мм/мин}, \quad (2.15)$$

$$v_{ep} = 10 \sqrt{\frac{60 f_u}{t_{y\partial}}}, \text{ мм/мин}, \quad (2.16)$$

Частота следования импульсов для генератора RC-схемы

$$f = \frac{1}{2,3 \cdot RC \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{\text{ПР}}}}, \quad (2.17)$$

где R – сопротивление первичного контура генератора;

C – емкость конденсаторов;

$U_0$  – напряжение холостого хода при разомкнутых электродах;

$U_k$  – напряжение в конце импульса разряда;

$U_{\text{ПР}}$  – напряжение пробоя межэлектродного промежутка.

Оптимизация производительности достигается за счет использования соотношения  $I_{\text{max}}/\tau_u$  (для диапазона тока 10 – 100 А отношение  $I_{\text{max}}/\tau_u = 5-8$  мА/С).

Энергия импульса  $A_{\text{и}}$  для генераторов, работающих по RC-схеме:

$$A_{\text{и}} = \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (2.18)$$

где C - емкость конденсаторов, мФ.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Программа экспериментальных исследований

Согласно поставленным задачам программа экспериментальных исследований включает:

1. проведение микрометража партии золотников и обработку ее результатов;
2. нанесение покрытия на поверхности лабораторных образцов;
3. определение микротвердости покрытий;
4. определение износостойкости покрытий.

### 3.2 Оборудование для электроискровой обработки

Нанесение покрытия на детали проводили с помощью установки ЭИУ-1 ГОСНИТИ. Фотография этой установки приведена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 –Общий вид установки ЭИУ-1 ГОСНИТИ



Использовали электрод из вольфрама.

Сопрягаемые поверхности деталей золотниковой пар не являются плоскими и проведение экспериментов непосредственно с этими деталями представляют определенные технические трудности. Поэтому взамен их была изготовлена партия пластин из стали 15Х размерами 50х25 мм и толщиной 2 мм. Поверхность пластин подверглась механической обработке до 11-го класса шероховатости и термической закалке HRC 58. Партию пластин разбили на группы по 5 шт.



Рисунок 3.2 - Фото образцов

Одну партию пластин оставили без покрытия. Толщина покрытия составила – 20...30 мкм.

Толщину покрытия определяли весовым способом по методике описанной в пункте 3.4.

Дефектацию золотников проводили с помощью микрометража (рис.3.3) и других методов .

Контроль по внешнему виду производится с целью выявления внешних дефектов — сколов, вздутий, отслоений, трещин, раковин. Осмотр осуществляют с использованием лупы 10-кратного увеличения ЛИ-3, ЛИ-4 по ГОСТ 25706—83. При освещении лампами накаливания освещенность на уровне рабочего места должна быть не менее 150 лк, при освещении люминесцентными лампами по ГОСТ 1182—77 не менее 300 лк.

Толщину покрытия на золотнике, как и диаметр измеряют рычажным микрометром МРП-25-50 ГОСТ11098-85.

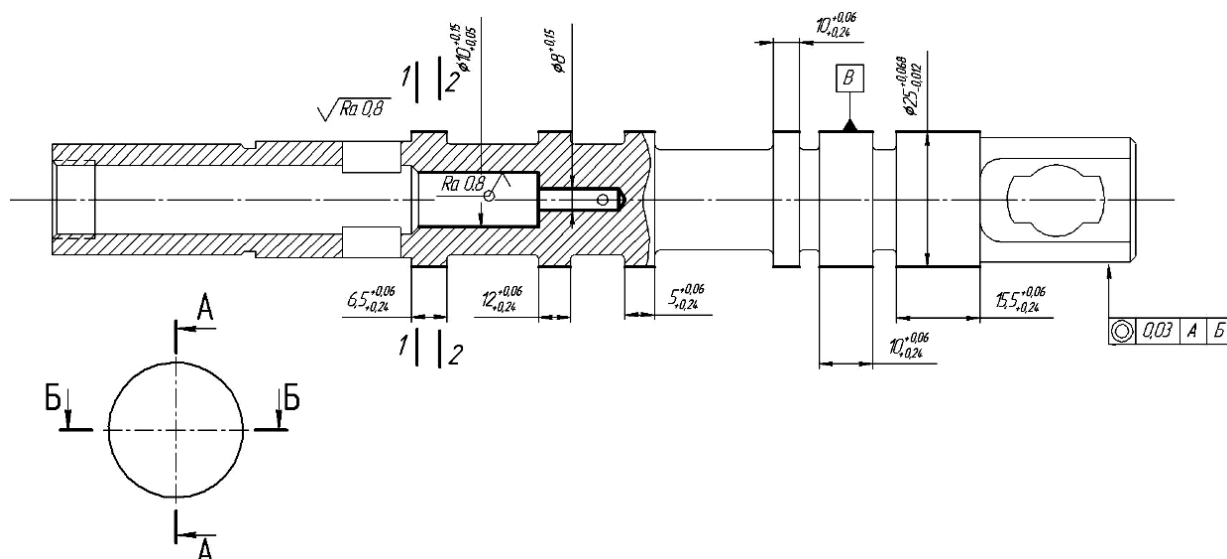
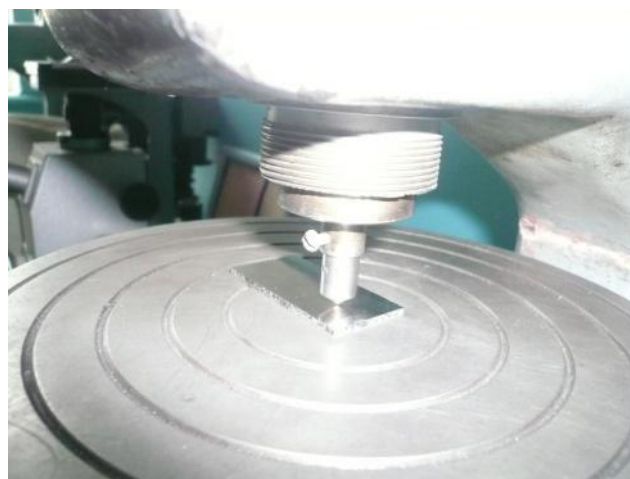


Рисунок 3.3 – Схема замера размеров поясков золотника

Твердость покрытий (толщина 1,5—2,0 мм) по Виккерсу определяют по ГОСТ 2999—75, по Роквеллу по ГОСТ 9013—59, по Бринеллю по ГОСТ 9012—59. Замеры твердости покрытий производили на кафедре «Технический сервис» на промышленном приборе для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла ТК-2М.. На рисунке 3.4 приведена фотография прибора ТК-2М с нашим образцом.



а



б

Рисунок 3.4 – Фотографии общего вида прибора ТК-2М (а) и зоны замера (б)

Прибор ТК-2М предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного конуса или стального закаленного шарика под действием заданной нагрузки в течение определенного времени.

В нашем случае из-за небольшой толщины покрытий вдавливание на образцы наносили алмазным конусом

Твердость покрытия определяли по микротвердости на приборе ПМТ-3. Микротвердость покрытий определяется по ГОСТ 9450—76 с помощью прибора ПМТ-3 по ГОСТ 10717—75 при толщине менее 10-кратной предполагаемой глубины отпечатка.

### **3.3 Методика лабораторных исследований образцов с покрытиями на износостойкость**

Эксперименты по определению сравнительных характеристик износостойкости покрытий проводили на машине трения 77МТ-1 кафедры «Технический сервис» Казанского государственного аграрного университета

В экспериментах по определению сравнительных характеристик износостойкости покрытий в качестве износового инструмента использовали плитку от наждачного круга. Истирание производили методом сухого трения.

На рисунке 3.4 приведена схема машины трения 77МТ-1.

Техническая характеристика

Частота вращения вала эксцентрика.....28-280 мин<sup>-1</sup>

Длина хода нижнего образца.....52 мм

Нагрузка на образцы.....50-750 Н

Масса и количество гирь нагружающего устройства: -1 кг-3 шт.

-2 кг-2 шт.

-5 кг-1 шт.

Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика..... ± 3 %

Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению.....± 30 %

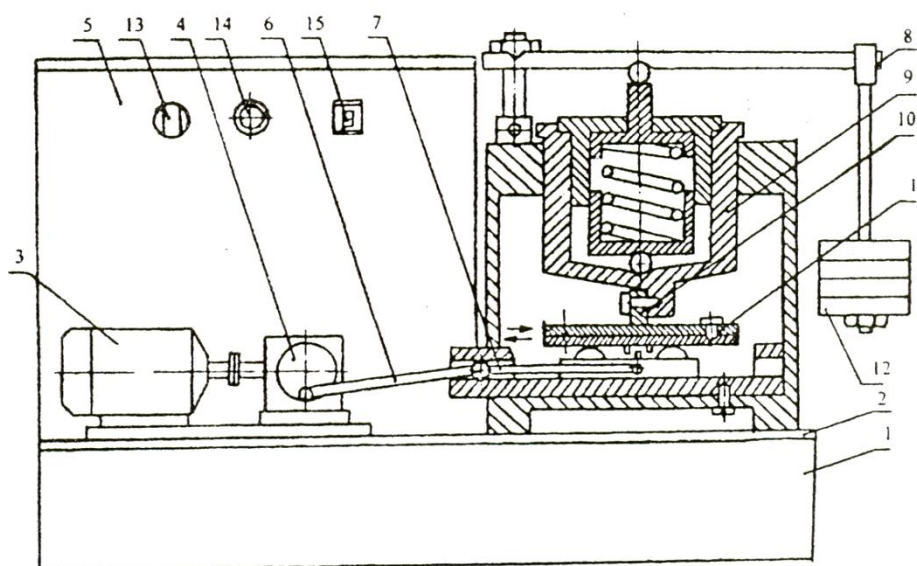
Потребляемая мощность, не более.....1,3 кВт

Напряжение трехфазной сети.....380 В, 50 Гц

Габаритные размеры: длина.....910 мм  
 ширина.....410 мм  
 высота.....860 мм  
 Максимальная масса машины.....190 кг

Истирание испытуемого образца производится за счет возвратно-поступательного движения износострумент по нему с приложением усилия через нагружающее устройство.

Машина трения работает следующим образом. На входной вал редуктора (4) (рисунок 3.5) насажен эксцентрик кривошипно-шатунного механизма. Шатун (6) приводит в возвратно-поступательное движение ползун (7), на тележке которого закреплена подвижная тарелка с износострументом (11). Испытуемый образец (10) винтами закрепляется в нижней части стакана (9). В нашем случае испытуемые образцы плоские. Поэтому их крепление к стакану (9) произвели через специальную оснастку.



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

Рисунок 3.5 – Схема машины трения 77MT-1

Таким образом, образцы приводятся в относительное возвратно-поступательное движение, скорость которого регулируется изменением частоты вращения электродвигателя (3) посредством ручки регулятора (13). Нагрузка на образцы обеспечивается нагружающим устройством, которое состоит из навески с гирями (12). Навеска с гирями через рычаг (8) и пружину давят на стакан (9), прижимая неподвижный испытуемый образец (10) к подвижному износному инструменту (11) с усилием согласно выражению:

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

где  $G_{\text{ст}}$  – вес стакана, Н;  $G_{\text{рыч}}$  – вес рычага, Н;  $G_{\text{г}}$  – общий вес навески с гирями, Н.

В качестве критерия износа выбираем износ по массе. Определяем интенсивность и скорость изнашивания по массе. Интенсивность изнашивания по массе определяем по формуле:

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

где  $h$  – величина износа по массе, мг;  $l$  – износный путь, м.

Величину износа по массе  $h$  находили как разность масс образца до и после испытания. Скорость изнашивания по массе определяем по 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. Износный путь за счет частоты двойных ходов тележки выбрали 1 м за 1 мин. На рисунке 3.6 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. 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.



а – общий вид машины



б – узел трения



с – стакан с прикрепленным образцом



д – образцы после испытаний

Рисунок 3.6 – Фотографии машины трения 77МТ-1, ее узлов и испытанных образцов

Основные технические характеристики весов модели ВЛР-200 г :

- наибольший предел взвешивания, г.....200
- цена деления шкалы, мг.....1
- дискретность отсчета, мг.....0,05
- диапазон взвешивания по шкале, мг.....от 0 до 100
- пределы допускаемой погрешности взвешивания по шкале, мг..... $\pm 0,15$
- напряжение питания весов переменным током частотой 50 Гц, В.....220
- потребляемая мощность, ВА, не более.....17
- габаритные размеры, мм, не более:

длина.....405

ширина.....310

высота.....445

- масса весов, кг, не более.....12

Замер весов образцов на весах ВЛР-200 г (рисунок 3.7) 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.



Рисунок 3.7 – Фотография весов модели ВЛР-200 г

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. Вначале записывают вес накладных гирь, например, 54 г. Затем снимают отсчеты по лимбу гиревого



механизма, после – по шкале и напоследок – по диску делительного устройства. В левом окне экрана установилась цифра 7 лимба гиревого механизма, в центральном окне – отметки числа 53 шкалы и число 20 в окне делительного устройства.

### **3.4 Методика определения толщины покрытия**

Для определения толщины покрытия используется следующая формула:

$$h = \frac{m_2 - m_1}{S \cdot \gamma}, \quad (3.4)$$

где  $h$  – толщина покрытия, мм;

$m_1$  - масса пластины до восстановления, г;

$m_2$  - масса пластины после восстановления, г;

$S$  - площадь пластины, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  - плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

Площадь пластины определяется по формуле:

$$S = a \cdot b, \text{ см}^2, \quad (3.5)$$

где  $a, b$  размеры пластины, см.

Ширина и длина пластины 25x50 мм.

### **3.5 Обработка экспериментальных данных и оценка точности измерений**

При проведении опытов необходимо свести к минимуму ошибки измерений, для того чтобы получить максимальные достоверные данные. Для этого применяем математическую статистику. Оценка погрешности результатов измерений регламентируется стандартом ГОСТ 8.207–76.

При измерении величин нами были применены приборы, которые обеспечивают наибольшую точность измерений. Все приборы перед началом измерений тщательно тарировали и настроили. Измеряемые параметры



замерялись в необходимом количестве и определенной последовательности. Во время испытаний контролировали факторы, которые влияют на результат испытаний и исключили систематические погрешности.

Графики построены по средним величинам опытных данных.

Для этого вычисляем среднее арифметическое значения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.6)$$

где  $x_i$  - результат при  $i$ -ом измерении;

$n$  - количество проведенных измерений;

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

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.7)$$

где  $\sigma$  - средняя квадратическая ошибка;

$x_i$  - результат при  $i$ -ом измерении;

$n$  - количество проведенных измерений;

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

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

Среднее квадратическое отклонение результата измерения вычисляется по формуле:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (3.8)$$

где  $\sigma$  - средняя квадратическая ошибка;

$x_i$  - результат при  $i$ -ом измерении;

$n$  - количество проведенных измерений;

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

Случайная составляющая погрешности результата измерения  $\varepsilon$  (без учета знака) определяется по формуле:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma(\bar{x}), \quad (3.9)$$

где  $t$  - коэффициент Стьюдента.

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

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

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

Неисключенная систематическая погрешность определяется по формуле:

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (3.10)$$

где  $\theta_j^2$  –неисключенная  $j$  - я систематическая погрешность (НСП);

$m$  – сумма чисел НСП;

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

Суммарное среднее квадратическое отклонение (абсолютная погрешность) определяется так:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma^2(\bar{x}) + \sigma^2(\theta)}, \quad (3.11)$$

Величина,  $\sigma_{\Sigma}$  определенная по формуле является абсолютной погрешностью. Очевидно, что при измерении некоторой большой величины при одном и том же значении  $\sigma_{\Sigma}$  результат может оказаться достаточно точным, тогда как при измерении малой величины его точность будет недостаточной.

Поэтому принимается и относительная погрешность, которая определяем как;

$$\delta = \frac{\sigma_{\Sigma}}{\bar{x}}, \quad (3.12)$$

Относительная погрешность выражается в процентах.

### 3.6 Определение необходимого числа экспериментов

Одной из задач планирования экспериментов является определение необходимого числа опытов, которые позволяют получить достоверные результаты. Кроме этого, определения необходимого числа экспериментов дает возможность сэкономить затраты средств и времени на исследование. Эта операция выполняется по принятой (известной) методике, изложенной ниже [16].

Для определения необходимого число экспериментов использовали следующую формулу:

$$n = \frac{S^2[x_i] \cdot t_p^2[m-1] \cdot \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{2 \cdot m}}\right)^2}{J_p^2}, \quad (3.13)$$

где  $S[x_i]$  - среднеквадратическое отклонение вариационного ряда;

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

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

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

Среднеквадратическое отклонение вариационного ряда определяем по формуле:

$$S[x_i] = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \quad (3.14)$$

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

$x$  - значение параметров исследований;

$n$  - число опытов.

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

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1. Результаты исследования дефектов и износов золотников гидрораспределителей

В соответствии с поставленной задачей исследования дефектов и износов золотников гидрораспределителей был проведен микрометраж деталей, согласно методике представленной в п.3.2.

В результате исследований было установлено:

1. Износ золотников происходит неравномерно. У поясков золотников гидрораспределителей максимально изнашивается поясок 6, минимально поясок 2. Средний износ 6 пояска больше 2 в 2,8 раза, а максимальный износ более 2,75 раза и составляет 38 мкм при среднем значении 13,8 мкм.

Можно сделать вывод, что исследуемая партия гидрораспределителей эксплуатировалась при загрязненной жидкости содержащей несгораемых примесей менее 0,04%.

На рис. 4.1.-4.2. представлены плотности распределения максимальных износов поясков золотников подчиняющиеся закону Вейбулла в двухпараметрической форме:

теоретический закон примет вид:

$$f(h) = \frac{1,6}{0,0133} \left( \frac{h - 0,002}{0,0133} \right)^{0,6} \cdot e^{-\left( \frac{h - 0,002}{0,0133} \right)^{1,6}}; \quad (4.11)$$

$$F(h) = 1 - e^{-\left( \frac{h - 0,002}{0,0133} \right)^{1,6}}. \quad (4.12)$$

Основные статистические характеристики и параметры закона распределения максимальных износов золотников следующие  $a = 0,0133$ ,  $b = 1,6$ ,  $c = 0,02$ .

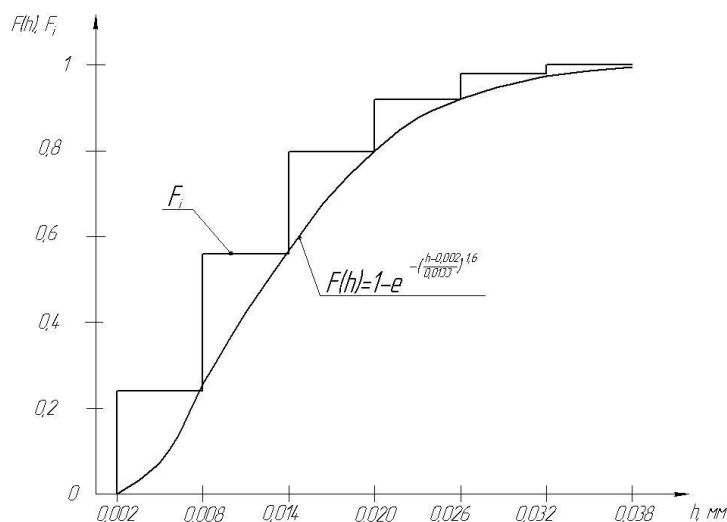


Рисунок 4.1 – Статистические и теоретические функции распределения износа

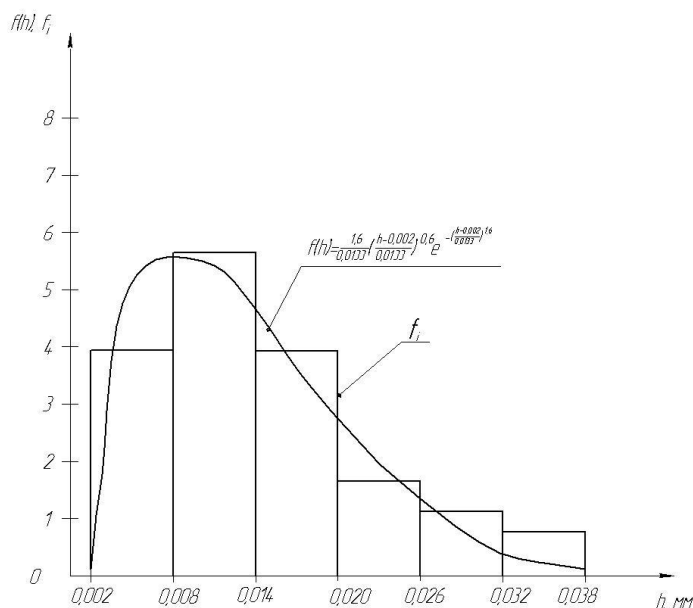


Рисунок 4.2 – Гистограмма и плотность распределения износа

Исследования показывают, что только 5,6% деталей соединения не имеют отклонений геометрической формы, что очень важно при организации процесса перекомплектовки.

При исследовании партии золотников кроме износа и отклонения геометрической формы золотниковых отверстий были выявлены следующие Дефекты: точечные каверны, царапины и риски вдоль отверстия, царапины и риски по диаметру поясков отверстия, выкрашивание или вымывание зерен графита, скол

кромки. Кроме того, как следствие окислительного износа, на поверхностях поясков имеют место темные пятна неправильной формы. Коэффициент повторяемости и способы устранения вышеуказанных дефектов представлены в табл.4.1.

Таблица 4.1-Дефекты поясков золотников гидрораспределителей

Дефекты	Повторяемость дефекта		Способ устранения	
			старый	новый
	коэффициент	в %		
1 .Износ и отклонение геометрической формы.	1	100	Переточка под ремонтный размер	Метод ЭИН
2.Точечные каверны.	0,31	31	Переточка под ремонтный размер	Метод ЭИН
3.Царапины и риски вдоль поясков	0,23	23	Переточка под ремонтный размер	Метод ЭИН
4.Царапины и риски по диаметру поясков	0,67	67	Переточка под ремонтный размер	Метод ЭИН
5.Следы схватывания	0,39	39	Переточка под ремонтный размер	Метод ЭИН
б.Скол кромок	0,048	4,8	Не восстанавливается	Не восстанавливается

До настоящего времени при восстановлении соединения вышеуказанные дефекты не устранялись вообще или устранялись при восстановлении на один из пяти ремонтных размеров (кроме б). Применение метода ЭИН для восстановления золотников позволяет полностью устранить вышеуказанные дефекты (кроме б).

Анализ результатов микрометрических исследований показывает, что основной причиной потери работоспособности пары «золотник-корпус» является износ и отклонение геометрической формы поясков золотника и корпуса. В связи с этим восстановление корпусов как типичных деталей с малыми

эксплуатационными линейными износами, не превышающими 38 мкм по диаметру, рационально производить электроискровой наплавкой:

- с изменением температуры окружающей среды;
- с изменением химического состава и структуры электродов;
- со старением узлов и деталей установки и вибратора, их ремонтом с заменой вышедших из строя элементов, токопроводящих проводов и т.д.

#### **4.2. Результаты исследований по определению влияния емкости конденсатора на скорость роста и микротвердость покрытий**

Результаты исследования влияния параметров процесса на скорость нанесения покрытий представлены на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Зависимости толщины покрытия от емкости конденсатора

Скорость роста определяли по увеличению массы покрытия за единицу времени. Как видим, с ростом емкости конденсатора увеличивается и скорость роста покрытия.

Как видно из графиков наиболее рациональным режимом являются емкость конденсатора 160мкФ.





В настоящее время установлено, что износ материала сильно зависит от микротвердости его материала. Необходимо отметить, что испытания на микротвердость позволяют судить об изменении его фазового состава.

Результаты влияния параметров процесса на микротвердость приведены на рисунках 4.4, 4.5.

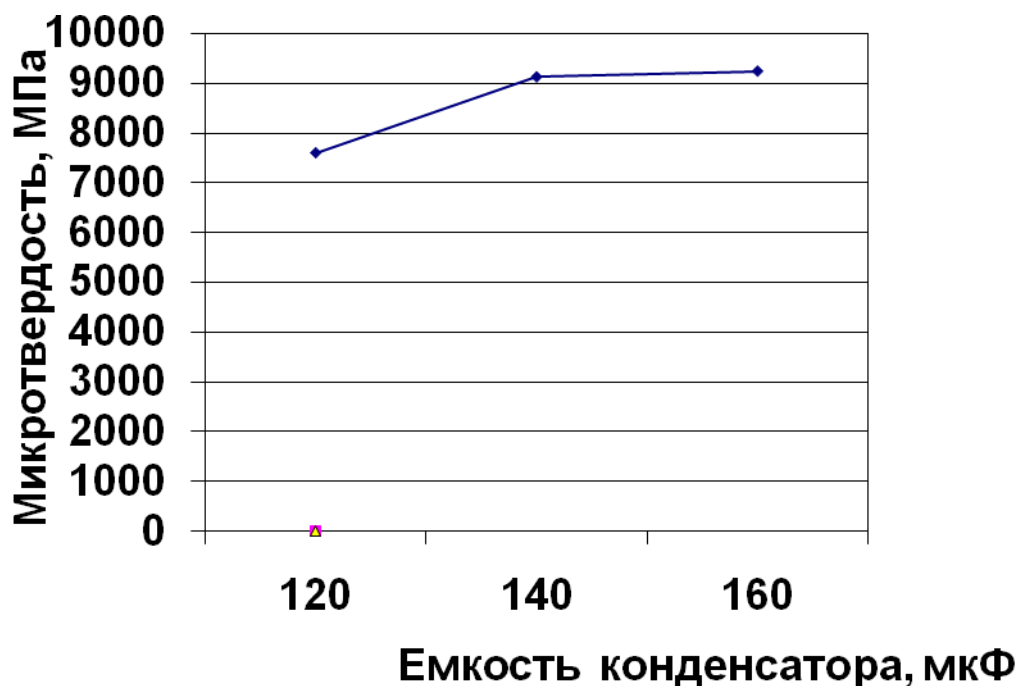


Рисунок 4.4 – Зависимости микротвердости покрытия от тока разряда и емкости конденсатора

Микротвердость мерили на образцах с помощью микротвердомера ПТМ-3. Нагрузка выбиралась так чтобы толщина покрытия была в 2...3 раза больше диагонали отпечатка. В большинстве случаев нагрузка составляла 0,98Н.

Исследованиями установлено, что изменение технологических параметров режима приводит изменению микротвердости в широких пределах. Как видно из графиков наиболее рациональным режимом являются емкость конденсатора 160 мкФ.

#### **4.3. Результаты металлографических исследований покрытий, полученных методом электроискровой наплавки**

Исходными материалами при проведении исследований служили образцы из стали 15Х с нанесенным слоем металлопокрытия из вольфрама.

Металлографические исследования зоны соединения образцов показали, что дефекты типа пор и трещин в зоне соединения покрытия с основным металлом отсутствуют. Для всех сочетаний соединяемых материалов имеет место явно выраженная (четкая) граница раздела между покрытием и основным металлом. На рис.4.4. представлены фотографии микроструктуры зоны соединения образцов (с увеличением в  $\times 100$  и  $\times 300$  раз) некоторых исследуемых материалов. Видно также, что образование общих зёрен (для сочетаний металлов с близким химическим составом) или каких-либо новых Фаз (для разнородных сочетаний металлов или металлов с существенно отличающимися по своему химическому составу) в зоне соединения не наблюдается.

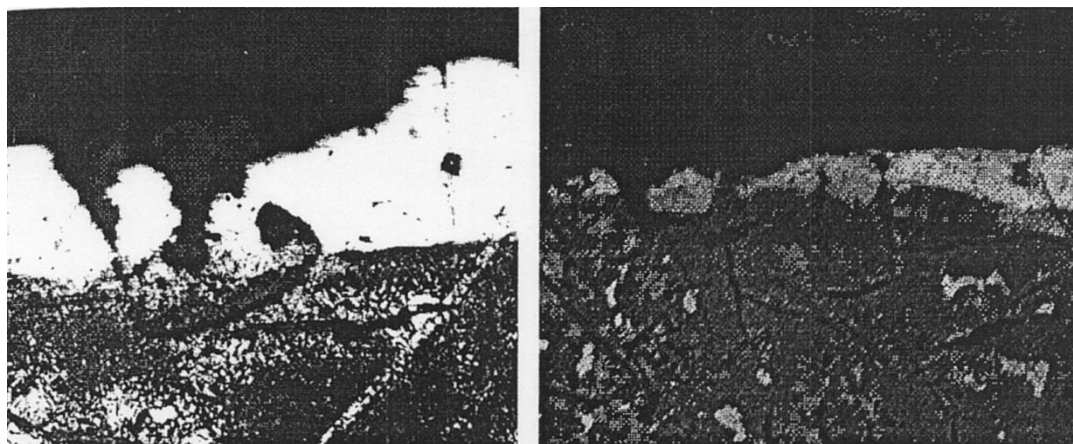


Рисунок 4.4-Микроструктура зоны соединения образцов полученных ЭИН (с увеличением в  $\times 100$  и  $\times 300$  раз)

Характеристиками качества поверхности являются ее шероховатость и форма микрорельефа. В связи с тем, что при ЭИН материал электрода на поверхность детали переносится порциями, где одна порция с перекрытием

накладывается на другую и друг на друга, то нанесенный слой образует нерегулярную шероховатость, одинаковую во всех направлениях.

Существенная особенность микрорельефа таких покрытий заключается в создании не сквозных масляных карманов рис.4.5., что обеспечивает снижение коэффициента трения и препятствует утечки жидкости.

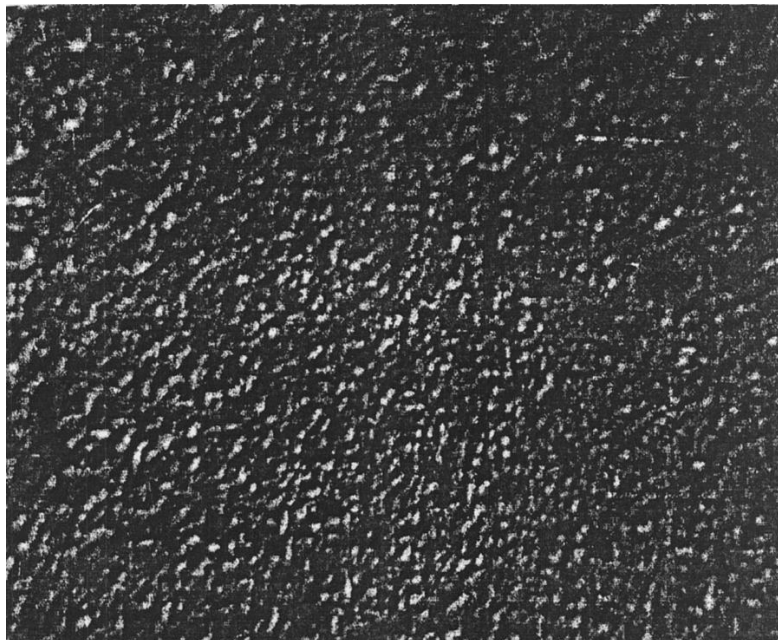


Рисунок 4.5-Поверхность образца, обработанная методом ЭИН

#### **4.4 Результаты лабораторных исследований износостойкости образцов с покрытиями**

Каждая группа исследованных натуральных образцов состояла из пяти пластин, изготовленных из стали 15Х и обработанных до 11-го класса шероховатости. На пластины 3-х групп наносили покрытия вольфрамовым электродом толщиной 30 мкм. Твердость пластин из стали 15Х составляла HRC 58. Микротвердость покрытия находится в пределах от 7589 до 9120 МПа. В экспериментах линейный износ (толщина изношенного слоя) основы натурального образца составлял примерно 0,5 мкм за 1 мин. Износный путь для образца выбрали 1 м за 1 мин.

Полученные данные лабораторных исследований натуральных образцов с покрытиями на их износостойкость представлены в таблице 4.2.

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.

На основании данных таблицы 4.2 строим графики зависимостей потери массы образцов с покрытиями и без покрытия от длительности износа (рисунок 4.2).

Таблица 4.2 – Потеря массы натуральных образцов от длительности износа

№ группы	Покрытие	Усредненная величина износа по массе, мг					
		Длительность износа, мин					
		5	10	15	20	25	30
1	Без покрытия (Ст. 15X)	2,6	5,3	7,7	10,5	13,1	15,5
2	15X+упрочнение	1,1	2,2	3,2	4,3	5,3	6,4

Анализ графиков показывает, что потеря массы находится в прямо пропорциональной зависимости от длительности износа, а скорость и интенсивность изнашивания натуральных образцов от продолжительности испытаний и износого пути соответственно являются постоянными. Эти параметры зависят от твердости и находятся в обратной пропорциональности от нее [    ].

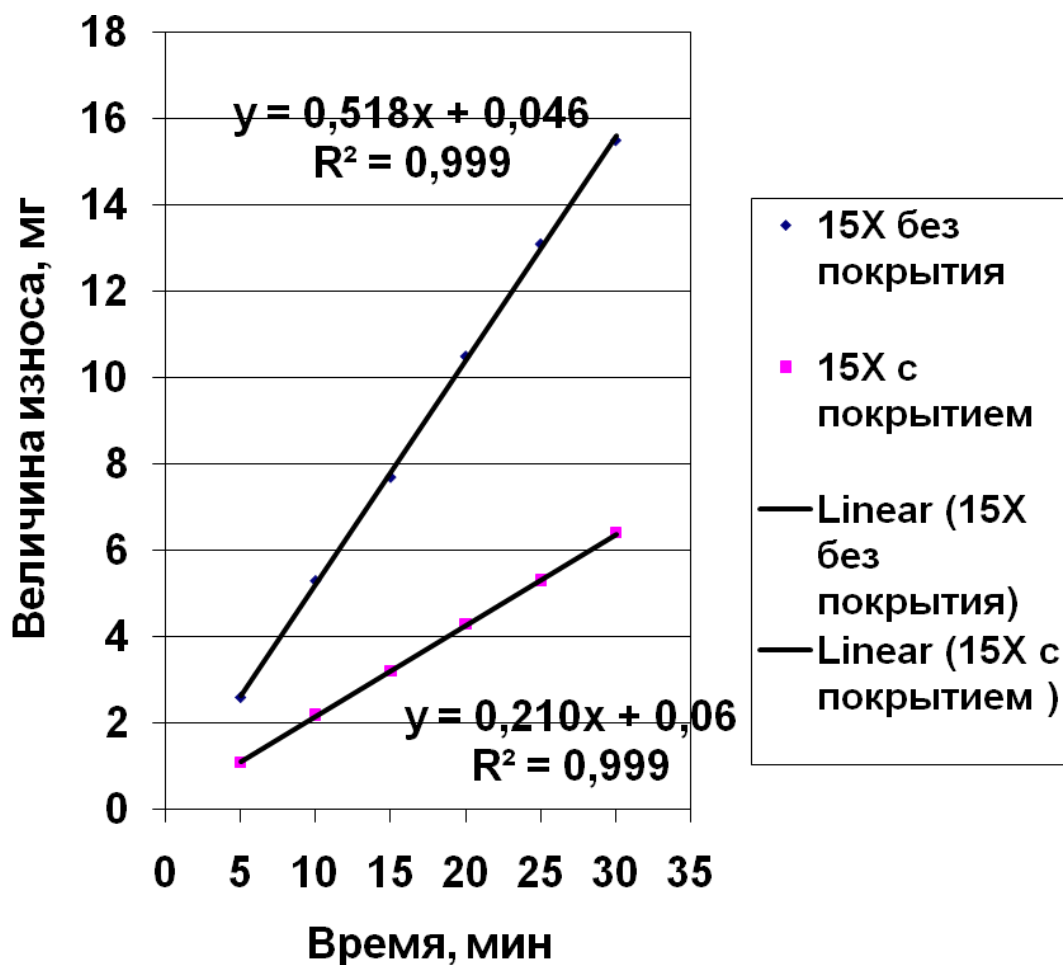


Рисунок 4.7 –Зависимость износа образцов от времени

Можно сделать вывод , что износостойкость покрытия нанесенного электроискровой обработкой - в 2,4 раза выше износостойкости закаленной стали 15X без покрытия.

#### 4.4 Выводы:

1. Скорость роста покрытия сильно зависит от емкости конденсатора. Наиболее рациональными режимами являются: напряжение -60В; емкость конденсатора – 160мкФ.
2. Исследованиями установлено, что изменение технологических параметров режима напыления приводит изменению микротвердости в

широких пределах. Наиболее рациональными режимами являются: напряжение -60В; емкость конденсатора – 160мкФ.

3.Износостойкость покрытия нитрида титана - в 2,4 раза выше износостойкости закаленной стали 15Х.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Ресурс деталей гидравлической аппаратуры, в частности золотников довольно низкий и не отвечает требованиям. Необходимо разрабатывать новые методы упрочнения поверхностей при восстановлении деталей.

2. Проведенный микрометраж золотников показал, что средний износ составил 0,0138 мкм. Данные износа золотников подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами:  $a = 0,0133$ ,  $b = 1,6$ ,  $c = 0,002$ .

3. На скорость роста покрытия влияют емкость конденсатора при этом рациональными режимами являются :напряжение -60В; емкость конденсатора -160мкФ.

4.Исследованиями установлено, что изменение технологических параметров режима напыления приводит изменению микротвердости в широких пределах. Наиболее рациональными режимами являются :напряжение -60В; емкость конденсатора -160мкФ. В работе доказано, что микротвердость покрытия достигает 9235 МПа, а увеличение износостойкости по сравнению с неупрочненной составило 2,4 раза.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Абраменко С.В., Коротких М.Т. Повышение износостойкости режущих инструментов и деталей машин электроискровой обработкой в гетерогенных средах. Современное машиностроение. Сборник трудов молодых учёных. Выпуск 1. Санкт-Петербург. Санкт-Петербургский институт машиностроения. 1999. 238с.
2. Ачкасов К. А. Ремонт приборов системы питания и гидравлической системы тракторов, автомобилей, комбайнов : учебник для средних сельских профессионально-технических училищ / К. А. Ачкасов, В. П. Вегера. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 1981. – 288 с.
3. Браславский, В.М. Электрические способы обработки металлов [Текст] / В.М. Браславский, Б.П. Захаров. - М.-Л.: Машгиз, 1962. - 55 с.
4. 5. Богомолова, М.А. Практическая металлография [Текст] / М.А. Богомолова. - М.: Высш. шк., 1987. - 240 с.
5. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В. и др. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика).-Саранск: типография Красный Октябрь, 2003.-504 с.
6. Бурумкулов Ф.Х., Сенин П.В., Лезин П.П., Иванов В.И., Величко С.А., Ионов П.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей – Саранск, ИМЭ МГУ, 2004.
7. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработка опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин.- М.: Колос, 1973.- 56с.
8. Верхотуров А.Д. Физико-химические основы процесса электроискрового легирования металлических поверхностей. Владивосток: Дальнаука, 1992. 180 с.

9. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995. 323 с.
10. Верхотуров А.Д., Муха И.М.. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. Киев: Техника, 1982. 184 с.
11. Власов Максим Васильевич. Повышение долговечности пластинчатых гидронасосов восстановлением изношенных рабочих поверхностей методом электроискровой обработки : На примере пластинчатого гидронасоса 5320 системы ГУР автомобилей семейства КамАЗ : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.03.- Саранск, 2003.- 201 с.: ил.
12. Власкин Владимир Викторович. Повышение долговечности турбокомпрессоров дизельных двигателей восстановлением изношенных деталей методом электроискровой обработки : Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 : Саранск, 2004 180 с.
13. Гитлевич А.Е и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей Кишинев: "Штиинца", 1985 г.
14. Гнесин Б.А. Электроискровое легирование поверхности на углеродистых сталях и чугунах с помощью электродов из силицидов молибдена и вольфрама. In: Материаловедение, 2007, №7, С.41-45.
15. Дегтярев, В. А. Ремонт и регулировка тракторных гидросистем / В. А. Дегтярев, Ю. М. Сисюкин. – Москва : Колос, 1964. – 126 с. : ил.
16. Дикусар А.И., Юрченко Е.В. Восстановление и упрочнение алюминиевых деталей наноструктурированием поверхности с помощью ЭИЛ электродами из сплава Al-Sn. Труды ГОСНИТИ 2013. -т.113.- С.354-364.
17. Замулаева Евгения Игоревна. Разработка наноструктурированных электродов и покрытий на основе WC-Co : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.06 / Замулаева Евгения Игоревна; [Место защиты: Моск. ин-т стали и сплавов].- Москва, 2009.- 158 с.: ил.

- 18.Замулаева Е.И. и др. Упрочнение деталей и инструмента методом электроискрового легирования с применением новых электродных материалов. Материалы 8 Межд.практической конференции – выставки «Технологии ремонта, восстановления,упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки, ч.2, Санкт-Петербург. Изд. Политехнического университета, 2006. С.200- 209.
- 19.Замулаева Е.И. и др. Нанодисперсный материал состава WC-8% Co для технологии электроискрового легирования и свойства формируемых покрытий. Тезисы 7 Международной научно-практической конференции «Человек и космос»,Днепропетровск, Национальное космическое агентство Украины.Национальный центр аэрокосмического образования молодежи Украины (НЦАОМУ), 2005. 342 с.
- 20.Иванов Г.П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин. М.: Машгиз, 1961. – 303 с.
- 21.Кальбус, Г. Л. Гидропривод и навесные устройства тракторов в вопросах и ответах / Г. Л. Кальбус. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев : Урожай, 1990. – 216 с. : ил.
- 22.Коваленко В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. — Киев: Вища школа, 1975. — 234 с.
- 23.Лазаренко Н. И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976 г. – 44 с.
- 24.Надежность и ремонт машин [Текст] / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. - М.: Колос, 2000. - 776 с.
- 25.Поздеев, М. Л. Техническое обслуживание и ремонт гидроприводов / М. Л. Поздеев. – Москва : Лесная промышленность, 1966. – 122 с. : ил.
- 26.Попов Л.М. Физико-химические методы обработки: Компьютерный текст лекций. — 2-е изд., перер. — Челябинск: Издательство ЮУрГУ,2006. — 97 с.

- 27.Рекомендации по текущему ремонту агрегатов гидропривода лесозаготовительных машин / М-во лесн. пром-сти СССР ; ВНПОлеспром ; ЦНИИМ. – Химки : [б. м.], 1990. – 100 с.
- 28.Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев, Наукова думка, 1976. – 220 с.
- 29.Сульдин Сергей Петрович. Повышение долговечности шестеренных насосов восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей электроискровой обработкой (На примере насоса НШ-50 У) : Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 : Саранск, 2004 238 с.
- 30.Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2010. 432 с.
- 31.Юрченко Е.В., Иванов В.И. Технологии восстановления деталей из алюминиевых сплавов методом электроискрового легирования. Труды ГОСНИТИ 2014. т.117 С.251-255.
- 32.Фотеев, Н.К. Технология электроэрозионной обработки [Текст] / Н.К. Фотеев. - М.: Машиностроение, 1980. - 184 с.
- 33.Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин [Текст] / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин.- 2-е изд. перераб. и доп. - М.: ГОСНИТИ, 2003. - 488 с.
- 34.Черкун В. Е. Ремонт тракторных гидросистем / В. Е. Черкун. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1984. – 253 с. : ил.
- 35.Юрченко В.И., Юрченко Е.В., Фомичев В.М., Агафий В.И., Силкин С.А., Дикусар А.И. Поверхностные слои, полученные при электроискровой обработке алюминиевых поверхностей сплавом Al-Sn и их износостойкость при сухом трении Вестник науки Приднестровья, 2012. №2. С.172-184.
- 36.Юрченко Е.В., Юрченко В.И., Дикусар А.И. Наноструктурирование поверхности из алюминиевых сплавов в условиях электроискрового легирования. Наноинженерия, 2013. №2. С.12-24.

