

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Политехнический»
Факультет «Автотранспортный»
Кафедра «Автомобильный транспорт»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ Ю.В. Рождественский
« ___ » _____ 2020 г.

Технологии нанесения твердосмазочных покрытий на подшипники скольжения
коленчатых валов автомобильных двигателей

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
НИУ ЮУрГУ 23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
доцент
_____ И.Г. Леванов
« ___ » _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-416
_____ П.В. Шарманов
« ___ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер
доцент
_____ А.А. Дойкин
« ___ » _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Шарманов П.В. Технологии нанесения
твердосмазочных покрытий на
подшипники скольжения коленчатых
валов автомобильных двигателей. –
Челябинск: ЮУрГУ, АТ; 2020, – 69 с.,
32 ил., библиогр. список – 11 наим.,

В продемонстрированной выпускной квалификационной работе произведён анализ и обзор существующих технологий предварительной подготовки поверхности вкладыша и технологии нанесения твёрдосмазочных покрытий, а также представлены и испытаны перспективные, по моему мнению, составы покрытий и технологии их нанесения. Произведена работа по модернизации и подготовки машины трения ИИ5018 к испытаниям образцов. Было произведено экспериментальное нанесение ряда полимерных составов. Для проверки наличия у нанесённого покрытия антифрикционных качеств и стойкости к усталостному разрушению были произведены испытания на машине трения. В работе рассмотрены перспективы развития полимерных покрытий.

					<i>23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шарманов П.В.</i>	<i>Шар</i>		<i>Технологии нанесения твердосмазочных покрытий на подшипники скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей.</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Леванов И.Г.</i>				<i>В</i>	<i>4</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Н. Конто.</i>		<i>Дайкин А.А.</i>				<i>Кафедра АВТ</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Рождественский ЮВ</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ	7
1.1 Пескоструйная обработка.....	7
1.2 Дробеструйная обработка.....	9
1.3 Галтовка.....	9
1.4 Крацевание	10
1.5 Шлифование	10
1.6 Полирование	12
1.7 Травление	14
1.8 Активирование поверхности.....	15
1.9 Обезжиривание	16
1.10 Фосфатирование	20
1.11 Основные определения	22
2 ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ	26
2.1 Распыление.....	26
2.2 Трафаретная печать.....	27
2.3 Финишное плазменное упрочнение	27
2.4 Окунание	33
2.5 Отверждение	35
2.6 Анодирование	38
2.7 Гальванический способ нанесения.....	42
2.8 Детонационное напыление.....	45
3 ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА НАНЕСЁННОГО ПОКРЫТИЯ	47
4 ИСПЫТАНИЕ НАНЕСЁННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ИИ5018 И ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИЯ	48
4.1 Модернизация машины трения ИИ5018.....	48
4.2 Испытания образцов на модернизированной машине трения ИИ5018.....	52
5 ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	60
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	65

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		5

1 ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Технологии подготовки рабочей поверхности вкладыша можно разделить на механический и химический способ. Для каждого наносимого покрытия на поверхность вкладыша необходимо обеспечить очищенную от всех окислов и загрязнений поверхность и определённую шероховатость. Срок службы покрытия и поверхности напрямую зависит от предварительной обработки. Не соблюдение технологического процесса при нанесении может привести к ухудшению или полному отсутствию расчётных характеристик и свойств наносимого покрытия.

При механической обработке детали также требуется обеспечить необходимую шероховатость поверхности, с соответствием класса чистоты. Для каждого наносимого покрытия требуемый класс чистоты разный. Для примера в таблице 1 представлены необходимые классы чистоты поверхности до нанесения и получаемый класс чистоты после нанесения на металлическую подложку. Деление на классы производится в зависимости от высоты микронеровностей в мк. Классы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Деление на классы в зависимости от микронеровностей

Тип гальванического покрытия	Требуемый класс чистоты	Класс чистоты после покрытия
Анодирование алюминия	6-7	6-7
Воронение стали	6-9	6-8
Кадмирование	7-9	7-9
Цинкование	7-8	5-7
Никелирование		
- глянцевого	7-9	10-13
- полуглянцевое	6-8	7-9
- матовое	5-8	5-8
Хромирование		
- блестящее	7-9	10-13
- полублестящее	5-7	7-9
- матовое	5-7	5-7
Серебрение		
- блестящее	7-9	10-14
- матовое	5-6	6-7
Фосфатирование стали	5-6	4-5

1.1 Пескоструйная обработка

Воздействие кварцевого или другого песка на поверхность металлической детали. Этот процесс применяется для снятия слоя металла с подложки изделия, а также с целью избавления от окалины и ржавчины.

К главным плюсам пескоструйной обработки поверхности относится не высокая цена процесса, хороший результат по удалению окислов с поверхности металла, изделие получает матовый серый оттенок, и стабильную шероховатость подготавливаемой поверхности. Детали, после пескоструя необходимо обязательно обдуть от оставшихся частиц песка потоком сжатого воздуха под давлением и очень тщательно промыть. Поверхность после пескоструйной обработки представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Поверхность металла после пескоструйной обработки

Сухая пескоструйная обработка применяется редко, т. к. в процессе образуется большое количество вредной кварцевой пыли, которая не всегда в полном объеме удаляется системой вентиляции. Обработка влажным песком или смесью воды и песка (гидроабразивная обработка) более целесообразна, т. к. образование пыли исключено. В современном пескоструйном оборудовании используются беспылевые сопла, способствующие удалению пыли непосредственно у места ее образования.

						23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			8

После первичного использования песка можно использовать повторно, что значительно уменьшает стоимость применения данного способа.

1.2 Дробеструйная обработка

При дробеструйной обработке вместо песка используют зерна стальной, чугунной дроби круглой или остроугольной формы. К сильным сторонам такой обработки следует отнести отсутствие пыли и возможность многократного использования дроби. Поверхность изделия под воздействием дроби поверхность металла упрочняется. Минусами дробеструйной обработки является более высокая шероховатость поверхности с риском образования мелких следов от удара дроби о поверхность. В целом качество поверхности после дробеструйной обработки ниже по сравнению с пескоструйной.

1.3 Галтовка

Галтовкой называют процесс очистки небольших металлических деталей, в том числе алюминиевых, во вращающихся барабанах под воздействием кварцевого песка, пемзы, стальной дроби, осколков стекла. В процессе с деталями удаляются небольшие заусенцы, шлам, различные загрязнения. Различают сухую галтовку, которая применяется в качестве окончательной механической обработки для удаления заусенцев и мокрую, при которой в барабан добавляется раствор соды, мыла, аммиака или серной кислоты.

Мокрая галтовка применяется для подготовки деталей к гальваническому покрытию или удалению небольшой окалины и ржавчины. Барабан загружают деталями и галтующим материалом не более чем на 80% объема. После процесса очищенные детали помещают на специальную решетку, где отделяют галтующий материал, который используется повторно. Длительность процесса галтовки при скорости вращения барабана 30-60 об/мин может составлять от 2 часов для стальных изделий, до 15 часов для отливок из цветных металлов и 80 часов для отливок из серого чугуна.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1.4 Крацевание

Процесс зачистки стальных деталей с помощью стальных щеток называется крацеванием. Виды загрязнений, удаляемые крацеванием:

- окислы;
- травильный шлам;
- коррозия поверхностного слоя металла;
- остатки покрытий.

Для крацевания цветных металлов используются щетки, изготовленные из латунной проволоки или других мягких материалов. Щетки в процессе смачиваются 3%-м раствором соды, поташи или извести. Для обработки вкладышей в промышленности не применяется, но есть перспективы применения при использовании специальных щёток с высокой плотностью волокон и определённой жёсткостью.

1.5 Шлифование

При шлифовании используются абразивные частицы спрессованные в единый шлифовальный круг, при прохождении абразивного круга по неровностям поверхности он их срезает, тем самым делая шероховатость подложки на вкладыше более гладкой, равномерной и без явных дефектов, поверхность после шлифовки приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Стальная поверхность после шлифовки

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Видов шлифования огромное количество, перечислю основные и которые целесообразно использовать при обработки небольших деталей округлой формы:

- круглое внутренне шлифование металла;
- круглое наружное шлифование металла;
- изменение шероховатости внутренних поверхностей;
- бесцентровая технология;
- шлифование плоских поверхностей.

По мимо этого, классификация проводится по типу применяемого материала при обработке. При автоматизации и оптимизации трудового процесса используют станки со встроенным ЧПУ, он призван автоматизировать процесс и обеспечить наилучшее качество поверхности заготовки.

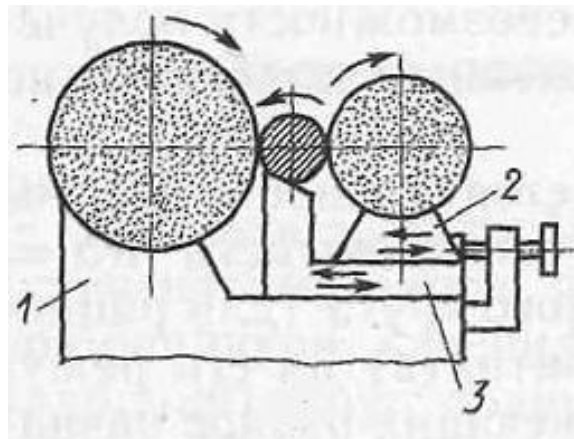


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема бесцентрового кругло-шлифовального станка:

1 – бабка шлифовального круга, 2 – бабка ведущего круга, 3 – опорный нож

Внутреннее шлифование, очень часто проводится внутренняя шлифовка металла. Технологией процесса похожи с внешним шлифованием, отличия в абразивном круге который находится внутри заготовки. При внутреннем шлифовании металла:

- инструмент и заготовка могут получать поперечную и продольную подачу.
- основное вращение задаётся абразивному кругу

Для повышения эффективность работы шлифовального станка в зону резания

можно подавать охлаждающую жидкость. Схема круглошлифовального станка приведена на рисунке 1.3.

При применении технологии бесцентрового шлифования заготовки не закрепляют в центрах. Шлифовка металлической заготовки проводится при подаче вращения двум шлифовальным кругам, между ними размещается заготовка. В центральной части находится нож, изготовленный из нержавеющей стали. Он предотвращает вероятность заготовки провалиться из-за её смещения и небольшого подклинивания.

Применение подобной схемы обработки позволяет значительно ускорить процесс шлифования. Ускорение происходит из-за того, что используется сразу два абразивных круга. По принципу бесцентрового шлифования работает большая часть используемых шлифовальных станков.

1.6 Полирование

Полировка поверхности является конечной стадией обработки поверхности вкладыша для придания ему зеркального блеска и минимальной шероховатости. Полирование производится с использованием специальных полировочных паст. Процесс полирования внешне сильно напоминает шлифования, но полирование значительно более сложный процесс, включающий в себя механическое, химическое и электрическое воздействие на обрабатываемый материал. Полирование применяется в гальваническом производстве как до покрытия, так и после, в качестве конечной операции.

Перед началом полирования необходимо провести матирование (засаливание) поверхности, при матировании поверхность изделия обрабатывается абразивным материалом с нанесенной на него полировочной пастой. Для полирования небольших деталей часто используется метод, схожий с мокрой галтовкой изделие помещается в барабан, заливают мыльным раствором (0,2-0,5% мыла). Полирующим материалом в данном случае служат стальные шарики диаметром 3-10 мм и окатанные фарфоровые осколки диаметром 5-20 мм. Барабан загружается примерно на 80% объема, объем стальных шариков составляет треть объема фарфора и 2-5 объема полируемых изделий.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

электрохимическим обезжириванием. При катодном электрохимическом обезжиривании, вследствие электролиза раствора щелочей, происходит выделение водорода. Жиры механически удаляются и оmyваются в щелочных растворах. При этом поверхность изделий сильно насыщается водородом, а изделия становятся более хрупкими. Это обстоятельство является недостатком катодного способа обезжиривания.



Рисунок 1.5 – Пример ванны для электрохимического обезжиривания

Анодное электрохимическое обезжиривание происходит менее эффективно, чем катодное. При этом вместо водорода выделяется кислород, который оmyляет жиры с поверхности изделий медленнее, чем водород, но при этом изделие не делается хрупким. Большая длительность процесса анодного электрохимического обезжиривания является его недостатком. На практике, учитывая положительные качества катодного и анодного способов электрохимического обезжиривания, очень часто применяют их одновременно, сначала изделия подвергают катодному

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

обезжириванию, а затем анодному, достигая лучшего качества. Затем после пары минут обезжиривания с катода переключается на анод.

Для электрохимического обезжиривания применяют растворы, состоящие из едкого натра, фосфорнокислого натрия, углекислого натрия, жидкого стекла и других веществ. Пример ванны для электрохимического обезжиривания приведён на рисунке 1.5.

Для электрохимического обезжиривания поверхности изделий, изготовленных из низкоуглеродистой стали и других металлов, на которые щелочи не действуют, применяют четыре раствора, отличающихся по составляющим веществам. Первый раствор с концентрацией составляющих веществ на 1 л воды состоит из едкого натрия или едкого калия 10 г, углекислого натрия или углекислого калия 40 г и тринатрийфосфата 20 г. Второй раствор из едкого натра или едкого калия 20 г, углекислого натрия или углекислого калия 40 г. Третий раствор едкого натрия или едкого калия 20 г, тринатрийфосфата 30 г. Четвёртый — из едкого натра или едкого калия 25 г, углекислого натрия или углекислого калия 50 г, тринатрийфосфата 15 г.

Перед употреблением указанные четыре раствора нагреваются до температуры 70—80°. Плотность тока 2—6 а/дм².

Электрохимическое обезжиривание осуществляют также при использовании переменного тока. Если применяются эмульгаторы, значительно уменьшается время на обезжиривание с 10 минут до 40-50 секунд, устраняется выделение водорода и тем самым возможность возникновения взрыва, температура обезжиривающего раствора снижается на 5-10° С.

1.10 Фосфатирование

Фосфатирование широко применяется для стальных поверхностей, но совершенно не подходит для нержавеющей сталей, оцинкованных стальных поверхностей и заготовок с кадмиевым или гальваническим покрытием.

Обработка поверхности металла фосфатом марганца увеличивает его несущую способность и улучшает смазывающие свойства покрытия, обработка фосфатом

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

цинка повышает его коррозионную стойкость, а фосфат железа улучшает адгезию с антифрикционными покрытиями.

При фосфатировании применяются растворы, которые создают слой очень мелких кристаллов. Большой объём частиц, осаждаемых на поверхности, должна иметь размеры в диапазоне от 2 до 7 мкм. Это соизмеримо весу наносимого слоя покрытия, примерно от 4 до 13 г/м².

Принцип процесса фосфатирования заключен в формировании на поверхности слоя труднорастворимых фосфатов металла.

При реакции образуется три типа солей:

- однозамещенные фосфаты;
- дигидрофосфаты;
- фосфаты.

При фосфатировании происходит образование фосфатов и разжижение металла. Однозамещенные соли возникают в процессе первоначального контакта кислоты и металла. При последующих соприкосновениях появляются двух и трехзамещенные соли. К главным элементам слоя относятся малорастворимые фосфаты, параметры которых устанавливаются свободной и основной кислотностью примененного вещества, происхождением катионов, количеством монофосфатов в объеме слоя. Для форсирования процесса формирования пленки в рабочую жидкость рекомендуется включать окисляющие ионы (ClO₃, NO₂, NO₃).

Фосфатирование выполняется следующими способами:

- погружением элементов в емкость, заполненную активной жидкостью;
- рассеиванием в камере;
- нанесением фосфатирующей грунтовки.

Специализированная линия фосфатирования повышает производительность труда при обработке элементов из металла при серийном изготовлении.

После обработки фосфатный слой должен иметь гладкую и ровную, а также однородную структуру и цвет покрытия от чёрного до серого. Пятна фосфатирующего раствора и следы коррозии на поверхности деталей не

									23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата						21

допускаются. Поверхность металла после фосфатирования представлена на рисунке 1.6.

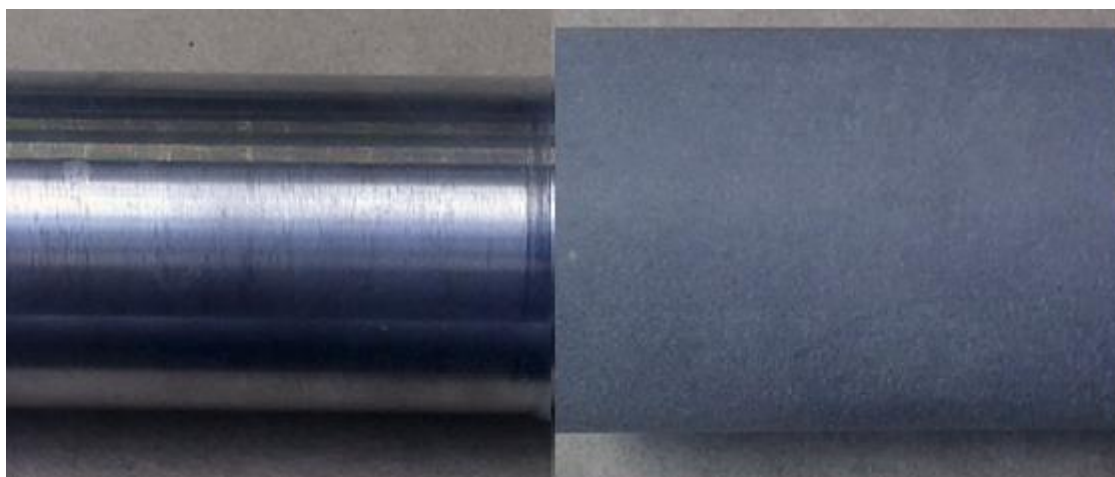


Рисунок 1.6 – Поверхность до и после фосфатирования

Подвергнутые фосфатированию детали из металла могут эксплуатироваться под влиянием различных факторов: высокой влажности, синтетических масел и лакокрасочных покрытий, органических химически активных веществ, напряжения до 1000 В.

Для того чтобы избежать возникновения коррозии под воздействием влаги, содержащейся в окружающей среде, антифрикционные покрытия должны быть нанесены незамедлительно, сразу после фосфатирования.

1.11 Основные определения

Изнашивание — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износ — результат изнашивания, определяемый в установленных единицах.

Величина износа может выражаться в единицах:

- длины;
- объема;
- массы.

Смазочный материал — материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Смазка — действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшаются сила трения и (или) интенсивность изнашивания.

Трение — это сложное явление, которое до последнего времени рассматривалось, главным образом, как вредное, поскольку оно вызывает износ машин и механизмов.[1]

Абразивное изнашивание является самой распространенной причиной изнашивания, возникает при попадании в смазку абразивных частиц, как инородных, например, песок, так и продукты износа самого двигателя. Абразивный износ может возникнуть при работе двигателя без смазки или на эмульсии, в результате этого не будет обеспечиваться гидродинамический режим трения и поверхность вала будет соприкасаться с поверхностью вкладыша. Пример абразивного изнашивания представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Пример абразивного изнашивания

Усталостное изнашивание происходит в результате циклических знакопеременных нагрузках на вкладыш, вызывает изменение поверхности

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		

трения и приводит к возникновению трещин и в дальнейшем к разрушению подшипника. Пример усталостного изнашивания представлен на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Пример усталостного износа

Так же существует кавитационное изнашивание поверхности оно происходит при движении твердого тела относительно жидкости, при этом пузырьки газа захлопываются на поверхности, создается местное высокое удельное давление и температура, в следствии этого происходит разрушение поверхности.

Фреттинг – коррозия вызывается воздействием коррозионной среды в паре с вибрацией, предотвратить можно правильным подбором конструкционных материалов, а так же применением покрытий.

На интенсивность изнашивания влияют:

- вид трения (граничное, переходное, гидродинамическое);
- среда в которой происходит трение (газ, жидкость);

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ				

- площадь и форма пятна контакта (точечная, по линии, цилиндр, сфера);
- характер движения (равномерное, постоянное);
- вид движения (вращательное, поступательное, возвратно-поступательное);
- характер нагружения (постоянная, непостоянная с увеличением и уменьшением величины нагружения и знакопеременная);
- величина получаемой нагрузки;
- частота вращения трущихся поверхностей.

					<i>23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

2 ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

2.1 Распыление

При нанесении полимерного покрытия методом напыления главную роль играет оборудование.

Электростатическое (корональное) напыление. Состав распыляется с краскопульта, который получает по кабелю заряд электрического тока высокого напряжения и по шлангу материал, а заготовка заземляется. Поэтому при взаимодействии полимерного состава с поверхностью изделия происходит явление, схожее с магнитной индукцией при замыкании электрода. Принцип электростатического распыления состава представлен на рисунке 2.1.

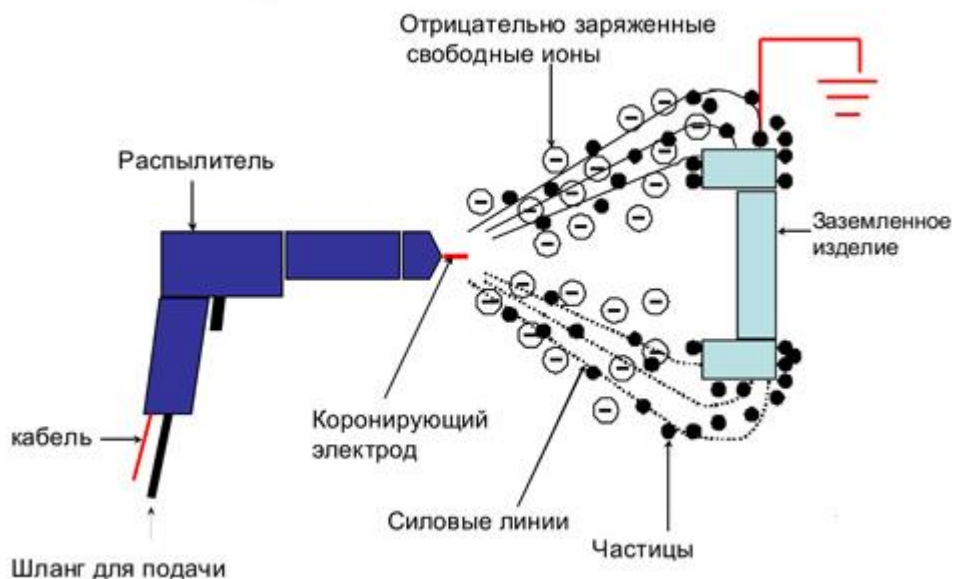


Рисунок 2.1 – Принцип электростатического распыления состава

Так же возможно распыление антифрикционных лаковых материалов более простым способом. Используя силу сжатого воздуха под давлением распылять состав из заранее наполненной бачка через сопло распылителя. Данный метод широко используется всеми ведущими производителями вкладышей подшипников скольжения, такими как Molycote, ВМП и другие.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2.2 Трафаретная печать

Рентабельно использовать на предприятиях при массовом выпуске. Создаётся одна форма (трафарет) по которой распылитель наносит покрытие сразу на десятки изделий за один раз, так же можно использовать данный метод при окунании (погружении), заготовка проходит предварительную подготовку, обезжиривается, затем наклеивается трафарет на места где покрытие наносится не должно и погружается в ванну при определённой скорости и равномерно, после вынимается.

После обтекания заготовка с нанесённым покрытием становится на сушку в сушильную камеру с повышенной температурой, на пример, на один час, по прохождению часа вынимается из печи, необходимо подождать пока деталь не остынет, после того как деталь остыла можно аккуратно снимать трафарет, после деталь отправляется на полную просушку в помещении с определённой влажностью 20-30% на окончательную просушку в течении последующих 24 или 48 часов.

2.3 Финишное плазменное упрочнение

Задачей технологии плазменного упрочнения является получение на детали упрочненного слоя с заданными эксплуатационными характеристиками износостойкости, прочности, трещиностойкости и выносливость покрытия.

Задачей финишного плазменного упрочнения, в дальнейшем ФПУ, можно считать повышению жизненного цикла изделий из металла благодаря нанесению при атмосферном давлении тонкопленочных покрытий при бескамерном химическом осаждении из паровой фазы (PECVD процесс) с применением жидких элементоорганических соединений и активации электродуговой плазмой. Покрытие является продуктом реакций паров реагентов, прошедших через малогабаритный плазмохимический реактор.

Цель ФПУ состоит в изготовлении деталей, инструмента, штампов, прессформ, подшипников качения и скольжения со специальными свойствами поверхности:

- износостойкостью;
- антифрикционностью;
- коррозионностойкостью;

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		

- жаростойкостью;
- разгаростойкостью;
- антисхватыванием;
- стойкостью против фреттинг – коррозии.

Эффект от ФПУ достигается за счет изменения физико-механических свойств поверхностного слоя:

- увеличения микротвердости;
- уменьшения коэффициента трения;
- создания сжимающих напряжений;
- залечивания микродефектов;
- образования на поверхности диэлектрического и коррозионностойкого пленочного покрытия с низким коэффициентом теплопроводности;
- химической инертностью и специфической топографией поверхности.

Оборудование для ФПУ включает в себя;

- специализированный источник тока;
- блок аппаратуры с жидкостным дозатором;
- плазмотрон с плазмохимическим реактором.

Дополнительно данное оборудование может комплектоваться роботом, позиционером, манипулятором, блоком автономного охлаждения, мобильной вытяжной системой, прибором контроля нанесения покрытия, прибором измерения толщины покрытия, оборудованием для подготовки поверхности перед нанесением покрытия. Пример применяемого оборудования при ФПУ представлен на рисунке 2.2.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 2.2 – Вид применяемого оборудования при ФПУ

Технологический процесс ФПУ проводится при атмосферном давлении и состоит из операций предварительной очистки (всеми методом) и непосредственно упрочнения обрабатываемой поверхности путем взаимного перемещения изделия и плазмотрона с плазмохимическим реактором. Скорость перемещения 1-10 мм/с, расстояние между плазмотроном и изделием 5-15 мм, диаметр пятна упрочнения 12-15 мм, толщина получаемого покрытия 0,5-3 мкм. Температура нагрева деталей при ФПУ не превышает 100-150°C. Параметры шероховатости поверхности после ФПУ не изменяются.

В качестве газов используется аргон, азот, исходным материалом для прохождения плазмохимических реакций и образования покрытий являются

						23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата			29

жидкие технологические препараты семейства СЕТОЛ. Примеры применения ФПУ: упрочнение режущего инструмента, штампов, ножей, пил, пресс-форм, калибров, фильер, шестерен, подшипников, деталей машин типа валиков, кулачков, направляющих, фиксаторов, прижимов, толкателей и т.д. По многим свойствам подходит для применения в подшипниках скольжения. Внедрение ФПУ на предприятиях России и других стран показывает повышение стойкости упрочненных изделий в 2-10 раз. Процесс нанесения покрытия способом финишного плазменного упрочнения представлен на рисунке 2.3.

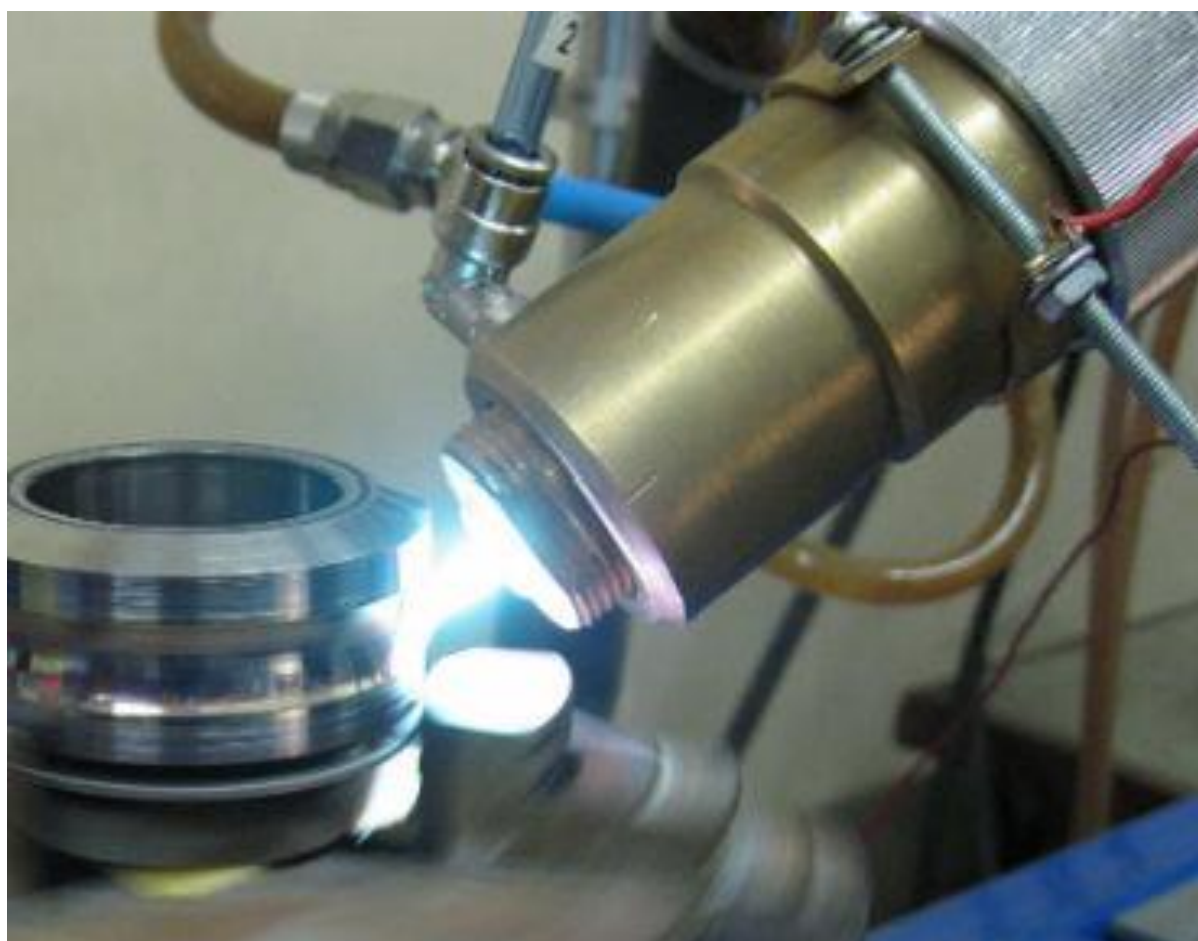


Рисунок 2.3 – Процесс нанесения покрытия способом ФПУ

Отличительные особенности ФПУ по сравнению с аналогами ионно-плазменным напылением (PVD-процессами), CVD-процессами, лазерным и электроискровым упрочнением, эпиламинированием и другими:

- проведение процесса упрочнения на воздухе при температуре окружающей среды не требует применения вакуумных или других камер и ванн;

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ				

- вследствие нанесения тонкоплёночного покрытия (толщиной не более 3 микрон), укладываемого в допуски на размеры деталей, процесс упрочнения используется в качестве окончательной финишной операции;
- отсутствие изменений параметров шероховатости поверхности после процесса упрочнения;
- минимальный нагрев в процессе обработки (не более 200°С) не вызывает деформаций деталей, а также позволяет упрочнять инструментальные стали с низкой температурой отпуска, возможность упрочнения локальных (по глубине и площади) объемов деталей в местах износа с сохранением исходных свойств материала в остальном объёме;
- тонкоплёночное покрытие по аморфности, низкому коэффициенту трения, повышенной микротвёрдости, диэлектрическим свойствам, химической стойкости к кислотам и щелочам, прозрачности в ИК диапазоне, близко к алмазоподобным покрытиям, образующиеся на поверхности упрочнённых изделий сжимающие остаточные напряжения при циклической нагрузке повышают их усталостную прочность (для сравнения: после операции шлифования возникают растягивающие напряжения, ведущие к снижению усталостной прочности);
- высокая адгезионная прочность сцепления покрытия с основой обеспечивает максимальную сопротивляемость истиранию (в том числе - при взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом);
- низкий коэффициент трения способствует подавлению процессов наростообразования при резании или налипания при штамповке и прессовании;
- формирование специфического микрорельефа поверхности способствует эффективному его заполнению смазочно-охлаждающей жидкостью при эксплуатации инструмента и деталей машин;
- образующееся на поверхности тонкоплёночное аморфное (стеклообразное) покрытие защищает изделие от воздействия высокой температуры (испытания на высокотемпературную воздушную коррозию в течение 100 часов при температуре 800°С);

					<i>23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>31</i>

- высокая производительность упрочнения, простота операций по очистке и обезжириванию перед упрочнением (отсутствие специальной предварительной подготовки);
- возможность упрочнения поверхностей деталей любых габаритов в ручном или автоматическом режимах;
- минимальное потребление расходных материалов; низкая потребляемая мощность установки для упрочнения - менее 5 кВт;
- незначительная площадь, занимаемая оборудованием 1-2 м²; малогабаритный плазмотрон с плазмохимическим реактором для упрочнения (массой около 1,5 кг) может быть легко закреплён на манипуляторе, в руке робота, а также - позволяет вести обработку вручную;
- транспортабельность и маневренность оборудования (масса блока аппаратуры - менее 15 кг, источника питания – менее 50 кг);
- экологическая чистота процесса в связи с отсутствием отходов при упрочнении;
- минимальный уровень шума, не требующий специальных мер защиты;
- особенные требования к помещению где будут производиться работы отсутствуют, так как нету взаимодействия с токсичными материалами, нет затрат времени на выдержку в растворах и сушку обработанных изделий.

В автомобильной промышленности используется покрытие:

DLC Pateks a-C:H-SiOCN его применение оправдано в производстве подшипники качения и скольжения, деталей торцовых уплотнений, червячных редукторов, лабиринтных уплотнений, защитных втулок подшипников скольжения, направляющие аппараты и рабочие колеса погружных насосов и соединительных муфт. Обладает отличными трибологическими характеристиками.

Экономическая эффективность ФПУ деталей, инструмента, технологической оснастки и других изделий определяется повышением их ресурса, сокращением необходимого количества для заданной производственной программы, экономией инструментальной стали, уменьшением объёма заточных операций, сокращением

времени и средств, связанных с настройкой прессов и металлообрабатывающих станков, возможностью интенсификации режимов работы.

2.4 Окунание

Процесс окунания возможен если форма и размер изделия позволяют нанести покрытие данным способом.

Технология окунания находит применение при нанесении пленок любой толщины в том числе крайне малой, а также нанесения твёрдосмазочного покрытия. Данная технология работает по принципу окунания подложки в ванну с жидким составом, в процесс полимер за счёт адгезионных качеств пристаёт к металлической поверхности вкладыша, а лишний полимер стекает с поверхности, дополнительно можно использовать сжатый воздух или сушильные камеры для просушки. Процесс окунания продемонстрирован на рисунке 6.

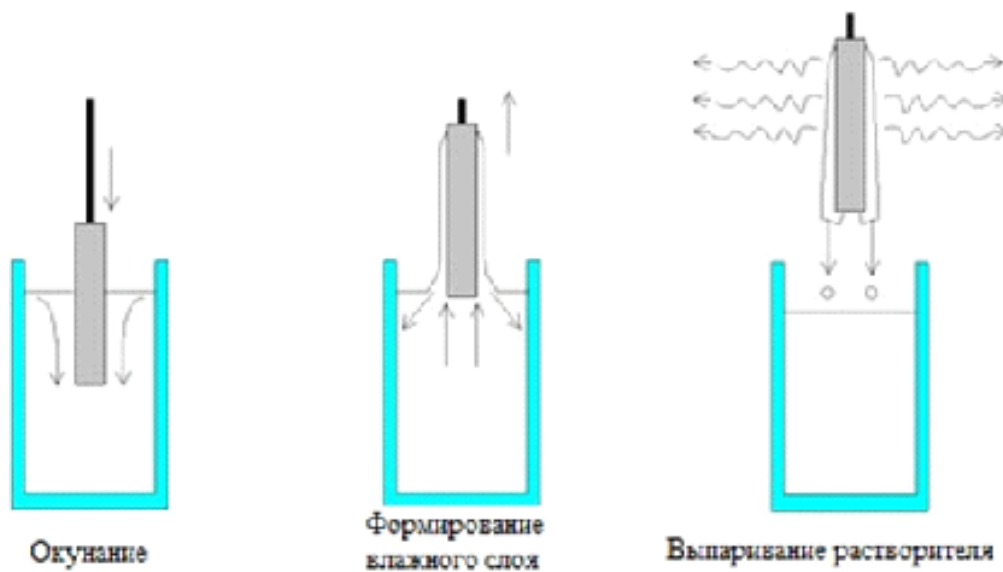


Рисунок 2.4 – Технология нанесения окунанием изделия

Окуная изделие в лакокрасочный материал, или обливая им изделие, удастся прокрашивать практически все участки поверхности, в том числе и скрытые от глаза человека, что не достигается с помощью других способов. Схема процесса погружения заготовки изображена на рисунке 2.4.

Этапы окунания (погружения)

											Лист
											33
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата							

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

Процесс можно разделить на три этапа:

- 1) Подложку погружают в раствор при постоянной скорости;
- 2) Выдерживание подложки в растворе в неподвижном состоянии;
- 3) Подложку вынимают с постоянной скоростью. Чем быстрее подложка вынимается из раствора, тем толще будет слой материала на подложке.

Минусы и плюсы

Метод является довольно простым, ввиду чего его легко автоматизировать. Толщина пленки контролируется при помощи вязкости покрытия и скорости выхода из емкости. Емкости, применяемые в данном методе, могут быть различными по форме и размерам. Это позволяет наносить покрытия на более крупные подложки.

Одним из минусов является тот факт, что в нижней части пластины толщина пленки может быть больше, чем в верхней части. На краях подложки покрытие может стекать неравномерно, ввиду чего на краях покрытие будет более толстым. Так же пары растворителя могут уносить с собой частицы покрытия, ввиду чего оно становится неравномерным.

Метод нанесения покрытия окунанием – процесс, в котором подложка погружается в жидкость, после чего извлекается при контролируемых условиях окружающей среды, что в конечном итоге приводит к нанесению покрытия. Толщина покрытия определяется скоростью подъема подложки, вязкостью жидкости и содержанием твердых компонентов. Если скорость подъема подложки подбирается с учетом того, что состояние системы будет находиться в Ньютоновском режиме, то толщина пленки может быть вычислена по формуле Ландау-Левича (2.1).

Формула Лаундау-Левича

$$h = 0.94 \frac{(\eta * v)^{\frac{2}{3}}}{\gamma^{\frac{1}{6}} * (\rho * g)^{\frac{1}{2}}}, \quad (2.1)$$

где h – толщина покрытия, η – вязкость

γ – поверхностное натяжение жидкость-пар, ρ – плотность, g – удельный вес.

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата						

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

В работах Джеймса и Стробридж показано, что экспериментальные значения толщины кислотно-каталитического кремнезоля хорошо коррелируют с расчетными значениями. В методе погружения возникает интересный эффект: выбрав соответствующую вязкость, толщина покрытия может изменяться с высокой точностью от 20 нм до 50 мкм при сохранении высокого оптического качества.

2.5 Отверждение

Отверждение используется при работе со смолами и антифрикционными красками. Чаще всего применяется для застывания эпоксидных и полиэфирных смол. Рассмотрим эпоксидную смолу ЭД20, она является самой распространённой и наиболее подходящей для использования в тяжело нагруженных подшипниках. Эпоксидная смола является двух компонентной, то есть для её затвердения необходим отвердитель в определённой пропорции добавляется в чистую смолу в зависимости от марки отвердителя.

Смола ЭД-20 (ЭД-16) ГОСТ 10587-84 (а также кампаунды, такие как К-153 и подобные) следует смешивать с отвердителем Полиэтиленполиамин (ПЭПА) в соотношении 10 к 1 (оптимальное соотношение для холодного отверждения). При 20% отвердителя процесс полимеризации происходит с большим выделением тепла, что нужно учитывать при нанесении состава на основе эпоксидной смолы. Так же при большом количестве отвердителя снижается (значительно) время отверждения, но также ухудшаются и прочностные характеристики.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

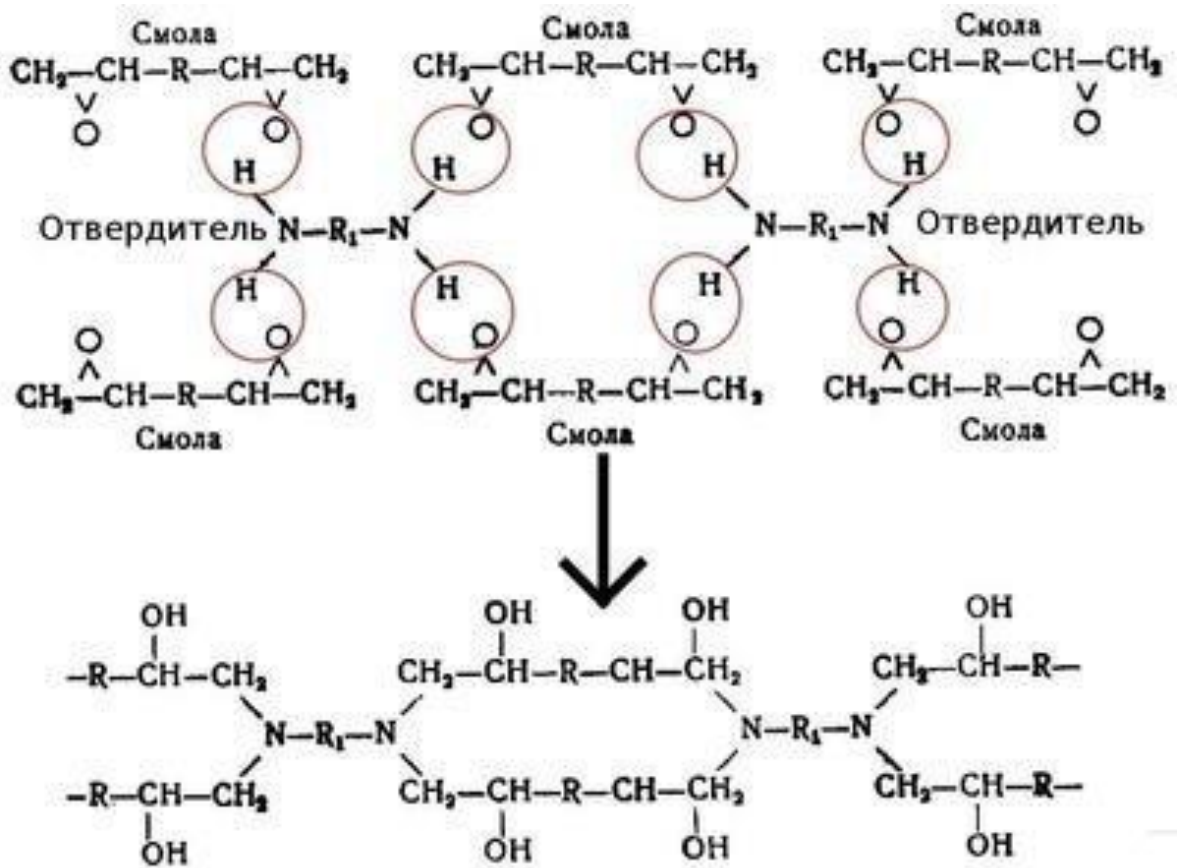


Рисунок 2.5 – Процесс отверждение эпоксидной смолы

Перед использованием необходимо правильно приготовить. Далее приведён процесс создания применяемого состава при нанесении. Смолу необходимо прогреть до температуры 20...25 градусов Цельсия, отвердитель так же следует прогреть до данной температуры, если температура была менее 20 градусов, то следует прогревать смолу не менее суток. Запрещается разогревать обогревательными установками и разогревать значительно выше рабочей температуры застывания.

После прогрева в помещении, смолу нужно тщательно перемешать и добавлять отвердитель не большими порциями, хорошо перемешивая добавляемый отвердитель. После полного добавления отвердителя в смолу, состав необходимо тщательно перемешать до однородной консистенции. Далее нужно перелить в неиспользованную тару и повторно все перемешать. Состав готов к использованию. Процесс отверждения эпоксидной смолы продемонстрирован на рисунке 2.5.

Отвержденная смола ЭД-20 является полностью не растворимым веществом, а также становится крайне хрупкой, что ограничивает ее применение в подшипниках.

Для предотвращения этого эффекта, смолу можно сделать более пластичной, тем самым уберечь покрытие от растрескивания и рассыпания при усталостных нагрузках во время работы (ГОСТ 10587-84) в состав смолы добавляют пластификатор дибутилфталат (ДБФ). Содержание пластификатора в смоле нужно точно учитывать и рассчитывать во время приготовления смолы к применению, лучше всего учитывать процентную составляющую пластификатора в приготовляемом растворе. Доля пластификатора зависит от поставленных задач перед подшипником, оптимальная доля дибутилфталата от 2 до 10 % от общей массы смолы ЭД-20.

Стоит учитывать, что порядок смешивания смолы с пластификатором и отвердителем строгий: С начало смешивается смола с пластификатором до однородной массы. Пластификатор так же стоит подавать малыми порциями, хорошо перемешивая состав. После смешивания состава (смола ЭД-20 и пластификатор ДБФ) вводят отвердитель ПЭПА (полиэтиленполиамины) согласно пункту "Правила смешивания".

Соединение смолы с отвердителем должно производиться при температуре не ниже чем 20 °С. Время желатинизации составляет, примерно - 1,5 часа, а время полного отверждения - 24 часа. Полностью отвердевшая эпоксидная смола с стеклотканью представлена на рисунке 2.6.

При увеличении количества отвердителя время застывания уменьшается, но возрастает хрупкость (вероятность потрескивания покрытия).

Необходимо избегайте попадания воды в смолу, а так же нагрева смолы до температуры выше 60°С. В случае перегрева может произойти «закипание» смолы, смола поменяет свой желтоватый цвет на матово-белый и покроется пеной такая смола теряет все свои качества и совершенно непригодна к дальнейшему использованию.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37



Рисунок 2.6 – Вкладыш с нанесённой и отвердевшей эпоксидной смолой ЭД-20

При использовании смолы с пластификатором. Сначала в смолу добавляют пластификатор. интенсивно перемешивая.

Смола в смеси с пластификатором способна храниться не ограниченное количество времени, такую смолу называют модифицированной. Применяя пластификатор нужно помнить, что при увеличении пластичности снижается механическая прочность изделия и соответственно несущая способность самого вкладыша.

2.6 Анодирование

Процесс создания оксидной плёнки на поверхности некоторых металлов и сплавов путём их анодной поляризации в проводящей среде.

Алюминий и его сплавы обрабатывают путём электролитического оксидирования. Алюминиевые сплавы с содержанием меди 0,5% и более, а также металлические сплавы с общим содержанием легирующих добавок свыше 7,5% обрабатывают в растворе серной кислоты.

После проведения обработки серной кислотой деталь необходимо тщательно промыть в воде, затем закрепить поверхностную пленку путем окунания в 5-6% раствор дихромата натрия или калия, промыть и продуть сжатым воздухом, а затем просушить. Просушка происходит при температуре не больше 102° С.

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ					

Все остальные алюминиевые сплавы и чистый алюминий могут обрабатываться в растворе хромовой кислоты.

Хромовая кислота образует тонкую пленку, которая обеспечивает защиту от коррозии. После обработки хромовой кислотой заготовку необходимо промыть в тёплой воде и дать её высохнуть на воздухе.

Для создания хорошей поверхностной пленки в растворах кислот требуется применять воду высокого уровня очистки, с сниженным содержанием хлоридов и сульфатов в её составе.

На производствах анодирование производится в растворах серной кислоты различной концентрации. Они гарантируют как большую скорость процесса, так и необходимую толщину оксидной плёнки. Использование автоматизации позволило полностью автоматизировать этот довольно опасный для здоровья человека процесс. Пример анодированной поверхности металла приведён на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Пример металлической поверхности после процесса анодирования

Оборудование для анодирования бывает трех типов:

Ванна с электролитом из инертного, не вступающего в реакцию, материала, притом обладающего свойствами теплоизолятора для предотвращения перегрева электролита. И катод, материал которого находится в прямой зависимости от того материала, который нужно анодировать.

Обслуживающее оборудование. К нему относятся агрегаты, обеспечивающие работоспособность установки для оксидирования. Это узлы подачи напряжения, предохранительные и приводные механизмы.

Вспомогательное. Это оборудование для работ по обработке и подготовке изделий к анодированию. В него входят и средства доставки деталей к ваннам. И средства упаковки и перемещения к местам, где готовые изделия складываются.

Самыми трудными, экологически опасными операциями при обработке металлов анодированием являются процессы загрузки и выгрузки деталей в ванны. Поэтому на качество работы приводных механизмов для этого всегда обращается особое внимание.

Образование на металлах оксидной плёнки зависит от выбранной технологии со всеми её факторами вроде типа электролита, мощности подаваемого тока, поверхности детали-анода. Универсальность раз и навсегда отработанных методов позволяет проделывать процесс анодирования даже в домашних условиях – нужно только владеть технологиями, от которых будет зависеть цвет получаемой оксидной плёнки. Минимизировать вред для здоровья от испарений кислот вряд ли получится, вряд ли в условиях домашней мастерской можно обеспечить герметичность ванны, эффективную систему вытяжки и фильтрации воздуха.

Среди разных видов анодирования популярен процесс нанесения цветной оксидной плёнки. Популярность его связывается не только с декоративностью получаемого покрытия, но и с разной степенью его прочности, которая зависит от цвета. Принципиальная схема анодирования приведена на рисунке 2.8.

Методы нанесения покрытия анодированием:

- Тёплый метод;
- Холодный метод;

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

- Твёрдое анодирование;
- Тёплый метод.

В большинстве случаев используется как промежуточный, ибо получаемые на его основе оксидные плёнки не стойки к воздействиям.

Исторически сложилось так, что все производственные процессы связаны с потреблением переменного тока – который совершенно не годится для процессов анодирования. Для того, чтобы ток был постоянным (то есть текущий в проводниках только в одном направлении, применяют выпрямители с достаточным запасом мощности. Оптимальная мощность для промышленных выпрямителей, связанных с процессами оксидирования 2,5 киловатта. А для обеспечения получения анодированной плёнки разных цветов и оттенков для таких выпрямителей монтируют бесступенчатую систему подачи мощности.

При холодном методе скорость образования анодированной плёнки выше скорости растворения металла на катоде, что обеспечивает высокую прочность получаемого защитного слоя. Но обязательно требование поддержания температуры раствора электролита на уровне не выше 5⁰С, что и дало название методу. Так как температура раствора в ванне в её середине всегда выше, чем у бортов, необходимо обеспечить циркуляцию раствора.

Твёрдое анодирование

Самая лучшая для высокого качества покрытия на стали. Такой способ анодирования применяют в аэрокосмической промышленности, где часто требуются запредельные нагрузки на узлы и агрегаты.

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ				

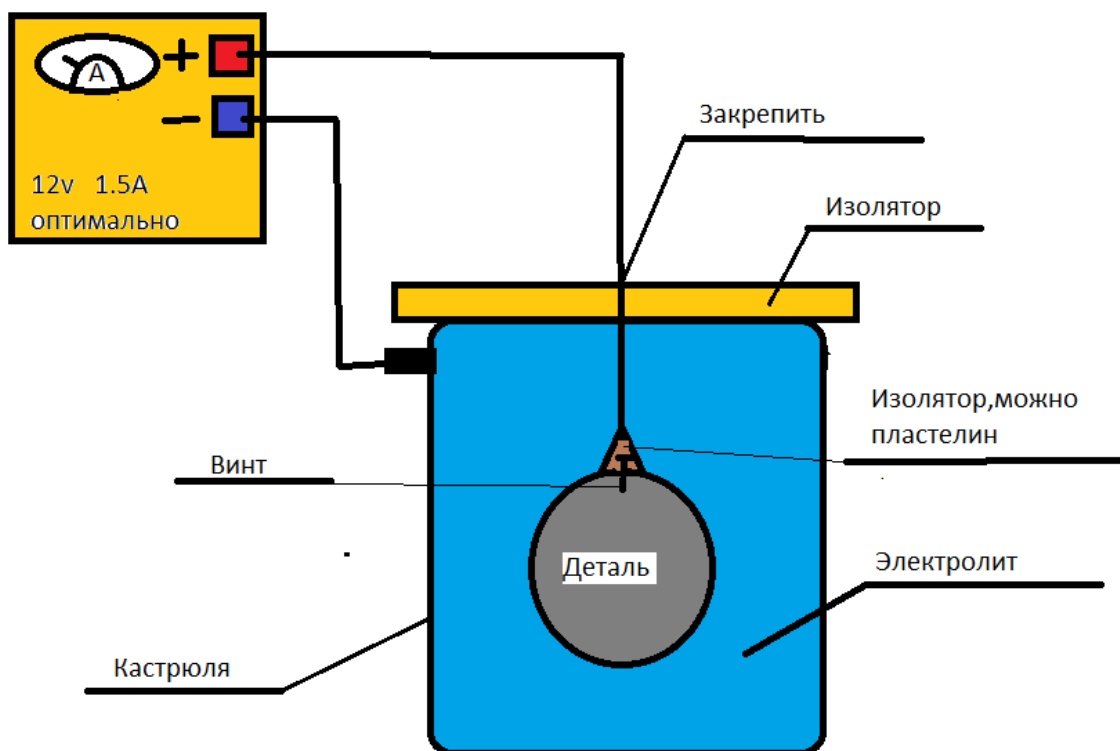


Рисунок 2.8 – Принципиальная схема анодирования заготовки

2.7 Гальванический способ нанесения

Процесс образования защитной пленки другим металлом осуществляется двумя методами:

Гальваническим катодным напылением, данная технология обработки металла отличается тем, что при небольшом ее нарушении происходит быстрая коррозия основного изделия, этому процессу способствует сам поверхностный слой, в качестве примера можно привести лужение оловом или свинцом. И гальваническим анодным нанесением, его можно отнести к надежным гальваническим покрытиям, при возникновении угрозы коррозии сначала начинают разрушаться поверхностные слои. Основной металл долгое время сохраняет исходную форму. При данном методе металл надежно защищен от всех возможных воздействий как механических, так и химических.

Для всех видов гальванизации металла применяется однотипное гальваническое оборудование. А именно емкость в которую опускается деталь из металла, называют ванной. Различие заключается только в видах применяемого электролита.

						23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			42

Исключением является холодное цинкование, производимое «Гальвонолом». Это жидкая суспензия, которая непосредственно наносится на металл. Отличается неустойчивостью к некоторым растворителям, поэтому нуждается в финишном покрытии.

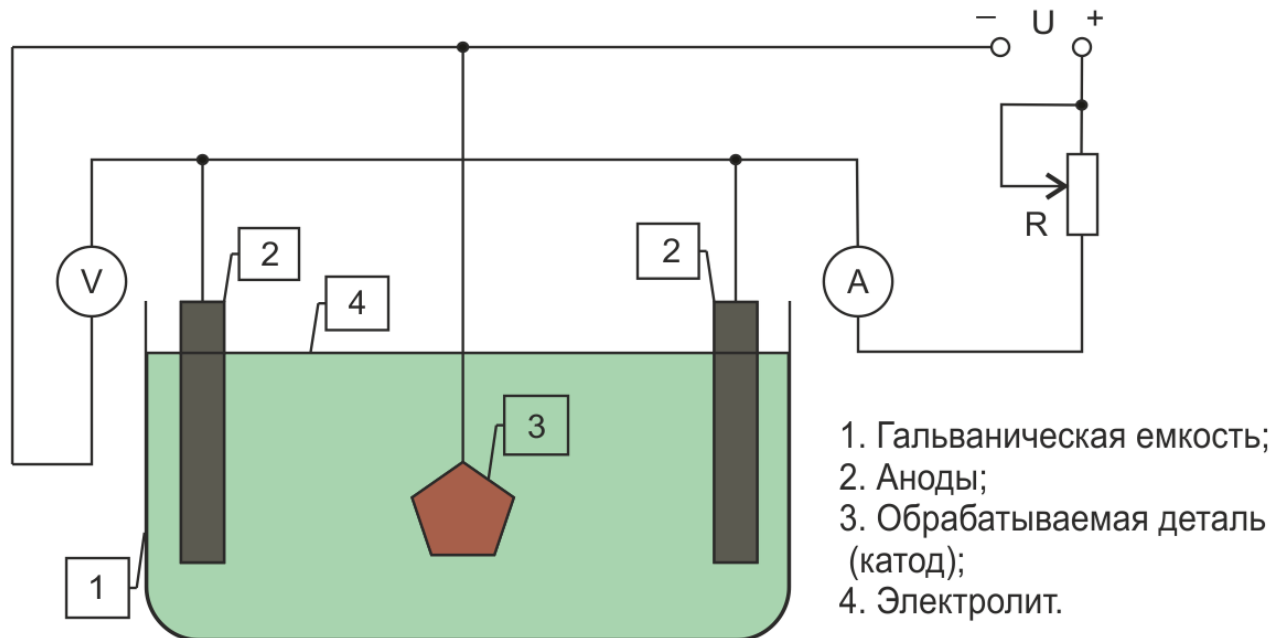


Рисунок 2.9 – Схема гальванического осаждения

Гальванический метод обработки подразумевает под собой применение разных металлов. От этого изменяется вид, название метода. Технологии:

Хромирование — популярный тип обработки. После обработки деталь становится износостойчивой.

- Цинкование процесс нанесения покрытия для защиты металлических заготовок от появления ржавчины;

- Серебрение применяется для улучшения защиты детали от образования ржавчины. Увеличивает показатель электропроводности;

- Латунирование применяется для повышения показателя адгезии с резиновыми поверхностями, защиты металлической основы от коррозии;

- Гальванизация золотом применяется для улучшения отражающих свойств материала, повышает коррозионную защиту, увеличивает токопроводящий показатель. Минус, высокая стоимость;

– Радирование применяется чтобы основание стало устойчивым к длительному воздействию химических веществ, кислот, щелочей;

– Никелирование этот технологический процесс, используется для покрытия медных, стальных, алюминиевых деталей. Готовое покрытие защищает изделие от разрушительного действия кислот и предотвращает образование окислов.

Поверхность становится устойчивой к истиранию, любым механическим воздействиям.

При гальваническом нанесение необходимо учитывать совместимость металлов при взаимодействии друг с другом.

Гальваническая обработка состоит из нескольких действий:

- 1) Приготовления электролитического раствора. Его состав будет зависеть от необходимых технических характеристик готовой пленки;
- 2) Погружения 2 анодов в готовый раствор. На них подключаются плюсовые контакты. Напряжение передает источник постоянного тока;
- 3) Медленного погружения заготовки в электролит. Его необходимо подключить к минусовому контакту. Заготовка будет выполнять роль катода;

В итоге электрическая цепь будет замкнута, начнется процесс гальванизации. Металлические частицы, содержащиеся в электролитическом растворе и имеющие положительный заряд, будут оседать на обрабатываемую деталь. Процесс осаждения приведён на рисунке 2.9.

К гальваническим покрытиям алюминия относятся сочетания:

- медь – никель – хром;
- никель – хром;
- свинец – олово;
- медь – олово; латунирование;
- цинкование.

Работа с алюминием и его сплавами сопровождается определенными трудностями. На их поверхностях присутствует окисная пленка, которая затрудняет процесс гальванизации, перед началом процесса гальванизации необходимо её убрать.

							23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
								44
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата				

2.8 Детонационное напыление

Детонационное напыление является одной из разновидностей газотермического напыления промышленных покрытий, в основе которого лежит принцип нагрева напыляемого материала (обычно порошка) с последующим его ускорением и переносом на напыляемую деталь с помощью продуктов детонации. При детонационном напылении для нагрева и ускорения напыляемого материала используется энергия продуктов детонации газокислородного топлива. В качестве горючего газа обычно применяется пропан-бутановая смесь.

Детонационное напыление предназначено для нанесения газотермических порошковых покрытий из металлов, карбидов, керамики. На различные изделия, а также для восстановления изношенных частей. Весь процесс основан на сильном разогреве, а в следствии разгоне частиц наносимого материала за счёт энергии детонации газовой смеси (ацетилена-кислорода), и последующем их переносе на деталь(подложку). Принцип работы дитанационного напыления приведён на рисунке 2.10.

Цикл процесса детонационного напыления:

- 1) подача топлива и окислителя, их смешение;
- 2) поджигание с меси газов и подача порошка;
- 3) детонирование газовой смеси, повышение давления (разгон, разогрев) порошка;
- 4) формирование слоя покрытия на подложке вкладыша (поверхности детали).

Преимущества:

- Широкая номенклатура напыляемых материалов, как карбидные материалы на металлической матрице, так и всевозможные керамики;
- широкий диапазон получаемых толщин покрытий от 0,05 до 2 мм;
- наименьшая пористость наносимых покрытий менее 1%;
- высокая адгезия более 70 Мпа;
- достигаемая шероховатость после конечной обработки покрытия менее 0,01

Ра.

Детонационное напыление применяют для нанесения покрытий:

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- коленчатые, распределительные валы;
- различные втулки;
- седло поворотного механизма прицепа;
- штока;
- плунжера;
- подшипники скольжения и качения;
- сальниковые уплотнения;
- статорные лопатки турбореактивных двигателей;
- направляющие закрылка крыла самолёта.



Рисунок 2.10 – Схема работы установки по детонационному напылению

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		46

3 ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА НАНЕСЁННОГО ПОКРЫТИЯ

Для того чтобы покрытие проработало не меньше расчётного количества часов и не требовало долгой приработки с поверхностью вала, необходимо провести ряд измерений:

- Замерить толщину покрытия;
- Снять профиллограмму;
- Замерить шероховатость поверхности покрытия;
- Проверить на наличие инородных частей;
- Замерить геометрию профиля вкладыша;
- Убедится в отсутствии подтёков материала;
- Проверить поверхность на наличие седлообразности и бочкообразности;
- Проверить свечение покрытия под ультрафиолетовой лампой (для лаков с содержанием красителя видимого под ультрафиолетовым излучением).

Проверка качества проводится после:

- полного затвердевания покрытия на поверхности образца;
- остывания до температуры окружающей среды;
- продувки сжатым воздухом и очистки изделия.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

Лист

47

4 ИСПЫТАНИЕ НАНЕСЁННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ИИ5018 И ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИЯ

4.1 Модернизация машины трения ИИ5018

Для проведения испытаний по определению полученных новых свойств и характеристик подшипника нам было необходимо произвести работы по дооборудованию и модернизации испытательного агрегата и улучшить его функционирование с целью получения условий работы подшипника максимально приближенных к его жизненному циклу и уменьшить разброс в полученных данных.

Данная машина трения предназначена для испытания подшипников скольжения с металлическими и полимерными композитными покрытиями. На машине установлен механизм нагружения, он применяется для имитации нагрузки воспринимаемой подшипником во время работы двигателя и выполнения им работы, для определения установленного режима нагружения имеется электронный датчик измерения приложенной силы. Машина в базовой комплектации оснащается электромеханическим приводом с возможностью устанавливаемой необходимой частоты вращения вала, а так же измерителем момента трения создаваемым при вращении вала.

В основе модернизации заложена маслостанция, приведённая на рисунке 4.1. На дне масляного бака был установлен трубчатый электронагревателем (ТЭН), мощностью порядка 2000 ватт представлен на рисунке 4.2, с возможностью нагревания жидкого масла находящегося в баке до 150 градусов по Цельсию, сам бак объёмом, приблизительно, 20 литров, через переходник был установлен прямоточный масляный фильтр тонкой очистки, в верхней накрывающей плите маслостанции находится масляный фильтр грубой очистки пластинчатого типа, пластины которого были разобраны и проверены на загрязнение, добавлена термопара для определения температуры масла в баке, показания данной термопары дают возможность выбрать оптимальный уровень подогрева масла для максимальной имитации работы двигателя внутреннего сгорания. Насос маслостанции по паспорту способен выдавать до 10 Мпа, но для имитации работы

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

подшипника необходимо не больше 1 Мпа, поэтому в главном маслопроводе было установлено 2 крана. Первый кран продемонстрирован на рисунке 4.3, служит для сброса лишнего давления масла обратно в бак, это необходимо при использовании машины трения с не прогретым до рабочих температур масла, с целью защитить шланги от разрыва и краны от протекания, так масло при низких температурах становится более густым. Второй кран представлен на рисунке 4.4, признан увеличивать и уменьшать расход смазки в камере трения. В самой камере трения представленной на рисунке 4.5, были просверлены технологические отверстия под концевик термодпары и масло-бензо устойчивый шланг подачи масла под давлением непосредственно к самому подшипнику. Управление машиной происходит с блока управления стоящего рядом, в него входит компьютер с программами для вывода полученных значений на экран и для непосредственного управления оборотами вращения вала, пуска-остановочный пульт, с помощью которого можно экстренно завершить испытание или отключить машину от электросети, а так же произвести запуск электродвигателя.



Рисунок 4.1 – Маслостанция в сборе

						<i>23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			<i>49</i>



Рисунок 4.2 – ТЭН

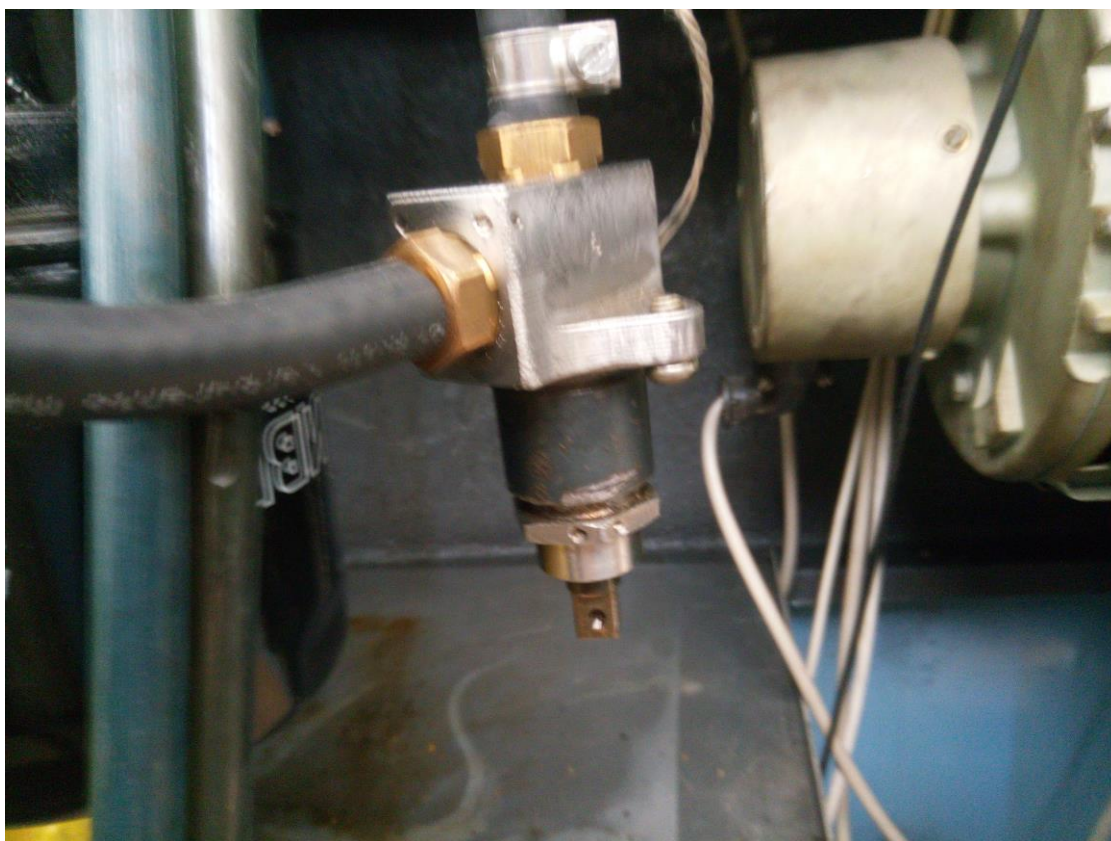


Рисунок 4.3 – Кран для сброса лишнего масла

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ



Рисунок 4.4 – Кран-регулятор подачи смазки в камеру трения



Рисунок 4.5 – Камера трения

Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

Лист

51

Для регулирования температуры масла в системе в электроцепь был установлен регулятор напряжения приведён на рисунке 4.6, для плавного и точного регулирования температуры смазывающего масла, а так же у испытателей появилась возможность поддержания необходимой температуры на протяжении всего испытания.

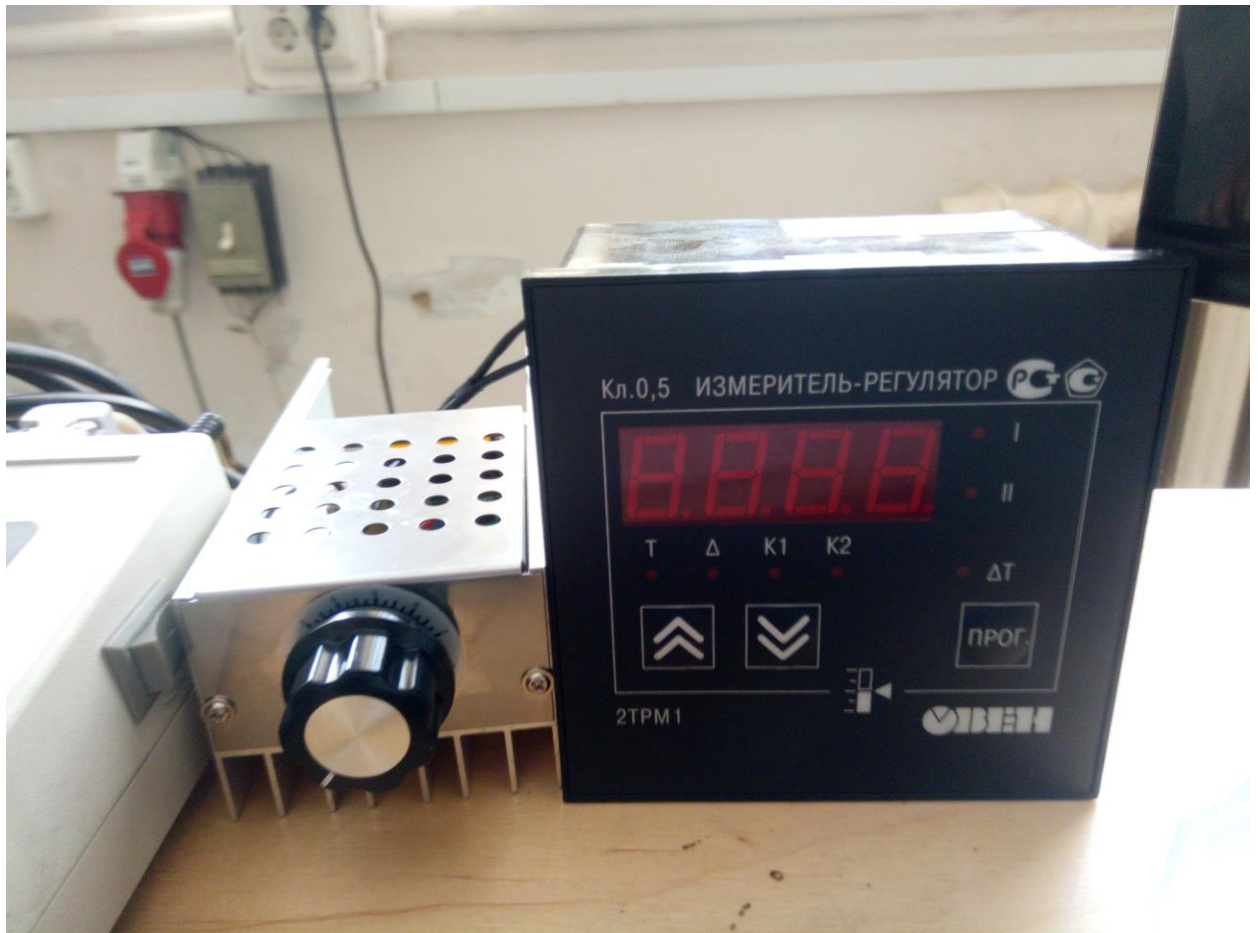


Рисунок 4.6 – Регулятор напряжения

4.2 Испытания образцов на модернизированной машине трения ИИ5018

Для определения изменения качеств и изучения влияния полимерного покрытия используется модернизированная машина трения ИИ5018, приведена на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7 – Машина трения ИИ5018

Испытание подшипников на машине трения представляют собой имитацию работы подшипника скольжения в двигателе внутреннего сгорания, в различных условиях, как приближенных к реальным, так и создание условий в которых двигатель при его стандартной эксплуатации не работает, а именно, работа подшипника скольжения в отсутствии гидродинамической силы, работа при высоких температурах масла, 130 и более, работа на низких частотах вращения коленчатого вала. Испытания подшипника проводились при температурах смазочного слоя 100 – 110°C. На протяжении всего испытания поддерживалась постоянная частота вращения вала равная 500 об/мин (52,4 рад/с). Радиус вращающегося ролика составляет 0,023925 м, а ширина 0,0205 м. Смазочную функцию выполняло масло ВМГЗ-45 всесезонное масло гидравлическое загущенное, цифра 45 обозначает температуру застывания масла. Для испытания были выбраны шатунные вкладыши производителя "Дайдо Металл Русь" 2108-1000102-01 номинального размера.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист 53

После сбора модернизированного шатуна производится установка шатуна с вкладышем на ролик в камеру трения, закрываем маслоотражающую крышку, далее запускаем масляный насос, включаем подогрев масла и запускаем машину трения, после первого пуска необходимо дать пара трения совершить начальную приработку, это занимает около двух минут, приработку следует делать без нагрузки. Дожидаемся разогрева масла до температуры при которой запланированы испытания, это примерно 110°C, устанавливаем нагрузителем нагрузку на вкладыш в 200 Н, делается это по датчику установленному на нагрузителе, информация с которого выводится на экран считывающего устройства, но так как нагрузка на пару трения передаётся через рычаг нужно умножить на коэффициент 2,5 для получения значения фактической нагрузки. Нагрузку увеличивали с шагом 100 Н и фактическим шагом 250 Н. Получаемые значения заносятся в таблицу измеренные данных, для дальнейшего анализа и построения диаграммы Герси-Штрибека, таким образом происходит нагружение до 2000 Н по датчику и до 5000 Н фактической нагрузки, с увеличением нагрузки смазочный слой как правило уменьшается, связано это с не идеальной геометрией поверхности вкладыша и в следствии выдавливания смазочного слоя через края подшипника.

Произведенные испытания состояли из 6 замеров, каждый замер выведен в сводной таблице средние значения за исключением прирабатываемого времени. При испытании измерялись момент трения, нулевой момент трения, температура подшипника скольжения и фактическая нагрузка оказываемая на подшипник, прилагаемая к подшипнику скольжения.

Исходя из полученных данных по формуле 4.1 была рассчитана удельная нагрузка $P_{уд}$, приложенная к подшипнику скольжения (Мпа):

$$P_{уд} = \frac{N_{факт}}{S_{пр}}, \quad (4.1)$$

где $N_{факт}$ – фактическая нагрузка, приложенная к подшипнику скольжения (Н);

$S_{пр}$ – площадь проекции ролика.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Площадь проекции ролика $S_{пр}$ вычисляется по формуле 4.2:

$$S_{пр} = B \cdot D, \quad (4.2)$$

где B – ширина ролика (м);

D – диаметр ролика (м).

Вязкость смазочного материала μ в зависимости от температуры смазочного материала рассчитана по формуле Фогеля 4.3 (МПа·с):

$$\mu = C_1 \cdot \exp\left(\frac{C_2}{T + C_3}\right), \quad (4.3)$$

где C_1, C_2, C_3 – экспериментальные константы, являющиеся характеристиками смазочного материала;

T – температура смазочного материала (°C).

Показатель режима трения рассчитан по формуле 4.4:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \omega}{P_{уд}}, \quad (4.4)$$

где μ – вязкость смазочного материала (МПа·с);

ω – частота вращения ролика (рад/с).

$P_{уд}$ – удельная нагрузка, приложенная к подшипнику скольжения (Мпа).

Коэффициент трения f рассчитан по формуле 4.5:

$$f = \frac{M}{N_{факт} \cdot R}, \quad (4.5)$$

где M – измеренный момент трения (Н·м);

$N_{факт}$ – фактическая нагрузка, приложенная к подшипнику скольжения (Н);

R – радиус ролика (м).

									Лист
									55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проведены испытания подшипников скольжения с различными нанесёнными покрытиями и стандартный вкладыш без покрытия купленный в обычном магазине. Вкладыш без покрытия берётся как эталон, все полученные данные будут сравниваться с его значениями.

Было проведено 4 испытания с различными видами покрытий:

1. без покрытия;
2. лак электроизоляционный Rexant KO-921;
3. лак электроизоляционный акриловый PLASTIK-71;
4. эпоксидная смола ЭД-20 вместе со стеклотканью и 5% пластификатора (ДБФ) дибутилфталат.

Вкладыш без покрытия показал свой стабильный результат поэтому и был взят за идеал, для сравнения нанесённых покрытий. Образец под номером 3 показал себя лучше всех, относительно вкладыш без покрытия лак снизил момент трения в два раза, а приработка поверхностей трения произошла практически полностью за 10 минут вращения ролика (вала), график приработки и последующий выход в номинальный режим работы приведён на рисунке 4.9, так же за счёт своей отличной текучести при нанесении он отлично заполнил все микронеровности и улучшил геометрию всего вкладыша в целом, у него не было выявлено подклиниваний и при максимальной нагрузке в 5000 Н производил момент трения равный 1, внешний вид вкладыша с покрытием акрилового лака после испытания приведён на рисунке 4.8. У образца номер 2 антифрикционные свойства менее выражены, но при этом он так же уменьшил шероховатость. Сводная диаграмма испытаний приведена на рисунке 4.10, по ней можно увидеть в каком режиме работала одна из трёх ГДО.

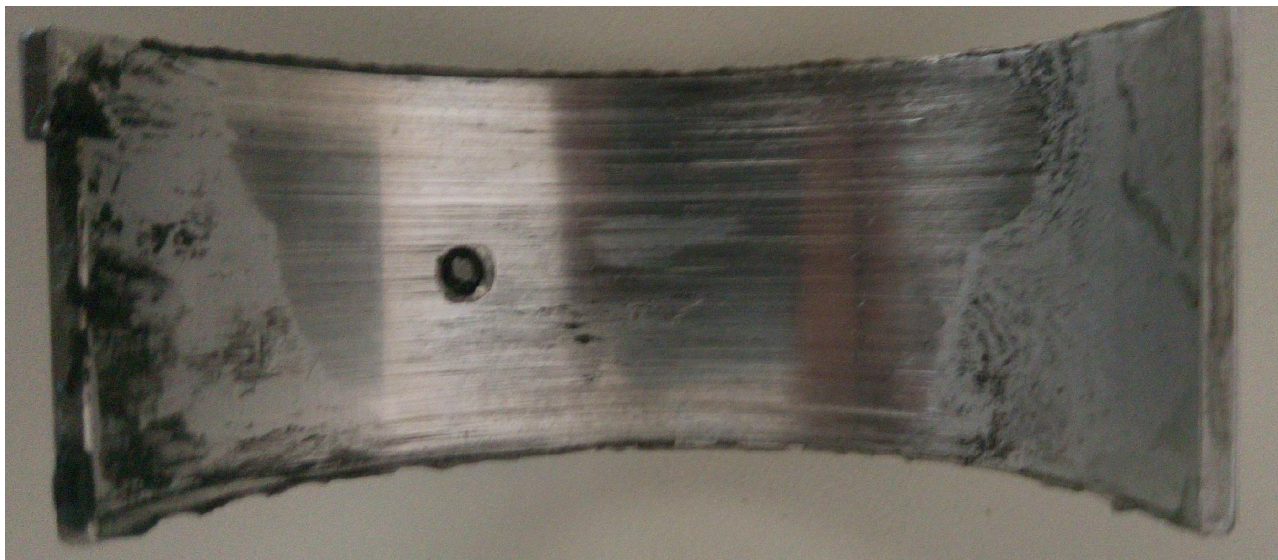


Рисунок 4.8 – Вкладыш образец с лаком PLASTIK-71

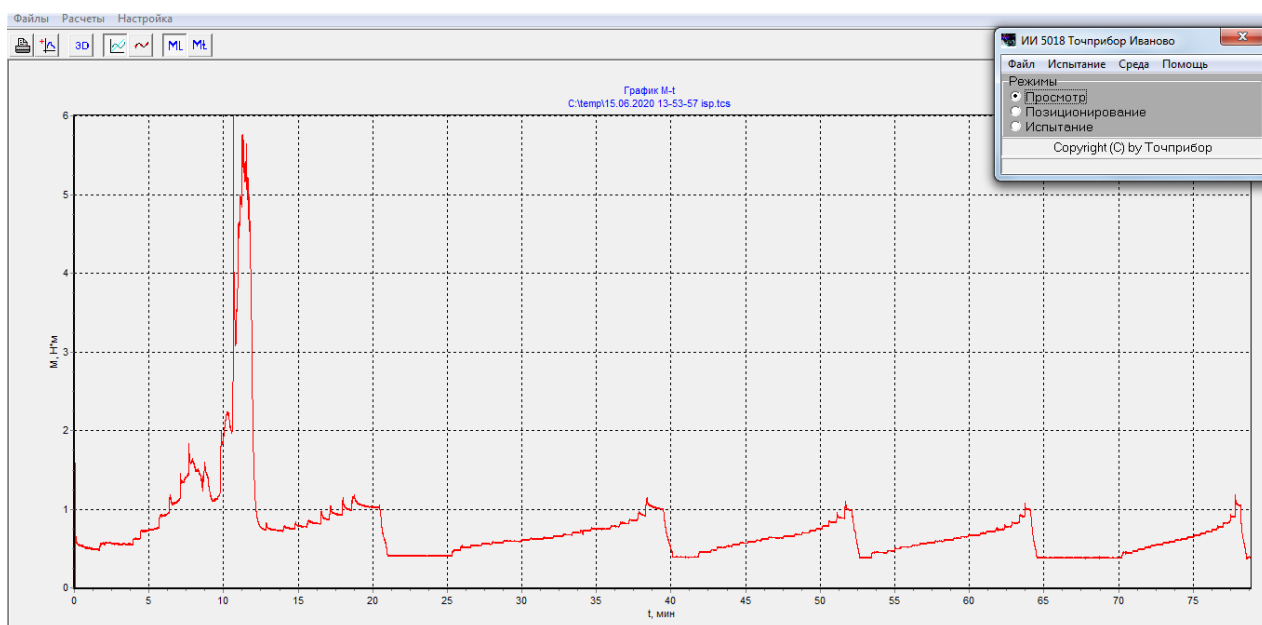


Рисунок 4.9 – График приработки поверхностей трения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

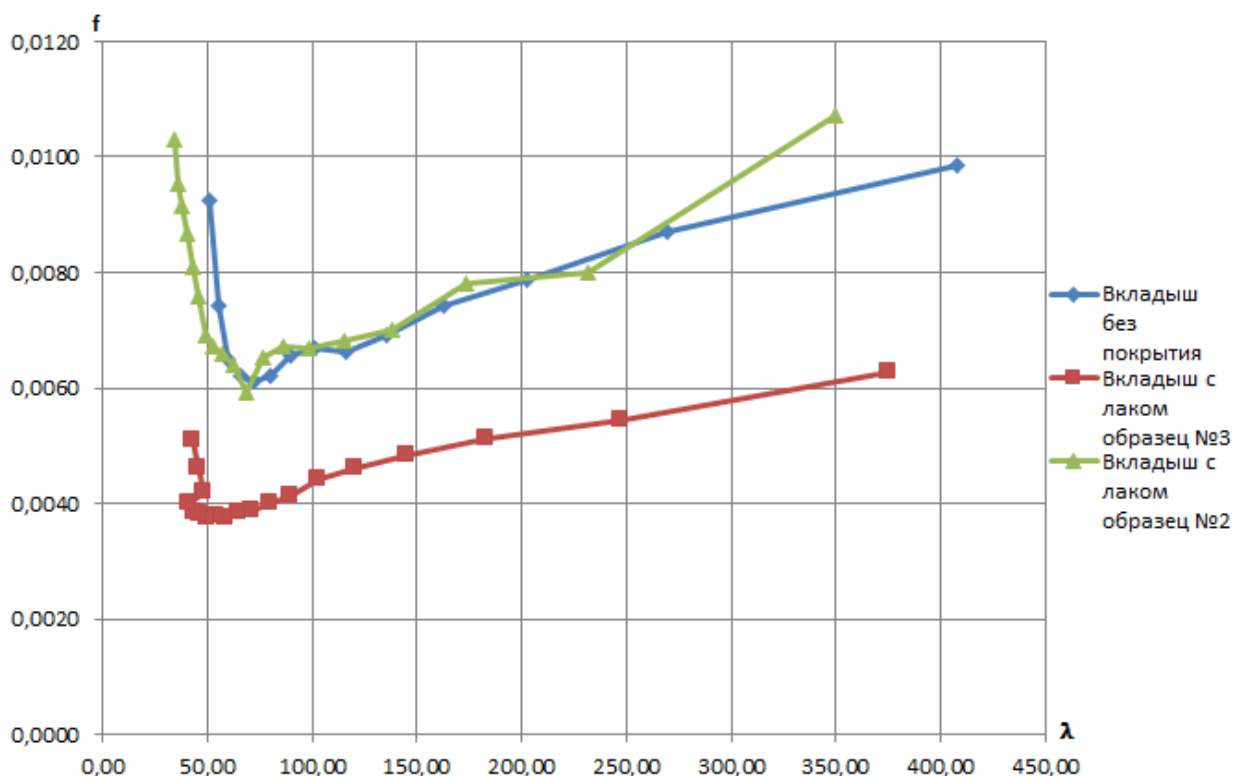


Рисунок 4.10 – Сводная диаграмма Герси-Штрибека полученных средних значений по трём проведённым испытаниям, трёх подшипников скольжения с различными поверхностями трения

Первые испытания композитного покрытия на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и стеклоткани средней плотности плетения, с 5% пластификатора дибутилфталата дали отрицательные результаты. Так как возник перекося из-за не правильной геометрии вкладыша нарушенной нанесением покрытия, а так разрушению поспособствовало уменьшение зазора между вкладышем и роликом, так как покрытие наносилось на вал и вкладыш номинального размера, эту проблему можно решить уменьшением диаметра ролика, уменьшением высоты вкладыша путём его обработки или изменения конструкции. В связи с перекося гидродинамические силы перестали работать и вкладыш заклинивало на крайне низких показателях нагрузителя, а именно при фактической нагрузке $N_{факт} = 1000 \dots 1250$ Н. От заклинивания вкладыш сильно нагревался и довольно успешно разрушал стеклоткань, последствия приведены на рисунке 4.11. Для понимания возможных характеристик подшипника с данным покрытием необходимо произвести новые испытания с исправлением выявленных проблем и ошибок

нанесения. Полимерные смолы имеют хороший потенциал благодаря своей хорошей стойкости к усталостному разрушению при наличии высокой твёрдости.



Рисунок 4.11 – Вкладыш с Эпоксидной смолой после испытаний

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		59

5 ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

У полимерных составов большое количество свойств и характеристик по которым они превосходят металлические. За счёт большого разнообразия способов нанесения, а также благодаря жидким составам застывающих путём отверждения или полимеризации появляется возможность нанесения без непосредственного доступа к детали.

Создавая полимер можно добиться практически любых требуемых характеристик, таких как: большие температурные диапазоны работы, устойчивость к ультрафиолетовому и инфракрасному спектру излучения, антикоррозионные и антифрикционные свойства. Имеется возможность точного подбора соотношения усталостной прочности и твёрдости изделия с нанесённым покрытием. Твёрдосмазочные составы могут быть нанесены на любое прочное основание. Пример втулки с полимерным покрытием представлен на рисунке 5.1.

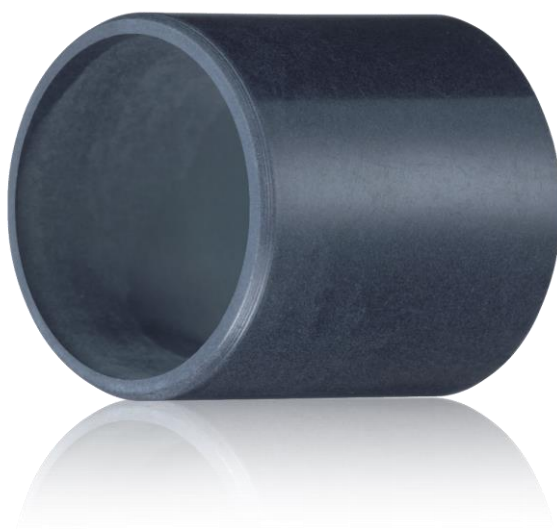


Рисунок 5.1 – Пластиковая втулка скольжения

В ближайшем будущем полимерные покрытия вполне могут составить сильную конкуренцию металлическим, имея более низкую цену производства при массовом выпуске и большой ресурс конечной детали.

Могут применяться практически во всех парах трения в том числе при работе в гидродинамическом режиме. В двигателе внутреннего сгорания это вкладыши

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ					

подшипников. Пример нанесенного твёрдосмазочного слоя на подшипник скольжения представлен на рисунке 5.2. Так же возможно применение на различных втулочных изделиях, кулачках распределительных валов, юбках поршней, пример нанесения антифрикционного, защитного покрытия на юбку поршня представлен на рисунке 5.3, шестернях масляного насоса и во многих других парах трения. Так же полимерные покрытия могут применяться в медицине в протезировании, в химической промышленности так имеют высокую стойкость агрессивным средам, например, кислотной.



Рисунок 5.2 – Пример вкладыша с нанесённым твёрдосмазочным слоем



Рисунок 5.3 – Нанесённое покрытие на юбки поршня двигателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ

Лист

61

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для получения твёрдо смазочного покрытия на вкладыше необходимо провести ряд механических и химических воздействий, представляющих опасность для жизни и здоровья работающего.

Так же, в лаборатории, присутствует опасность поражения человека электрическим током и возгорание горючих предметов, жидкостей и газов. Возможно искрение, а в следствии и возгорание электродвигателя машины трения и внешнего масляного насоса.

Все описанные технологические операции по взаимодействию с подшипником происходят с непосредственным участием человека в условиях лаборатории.

В связи с этим необходимо:

- использовать вытяжную вентиляцию с притоком очищенного воздуха;
- подключить и периодически проверять заземление к машине трения;
- использовать в электрической сети лаборатории устройства защитного отключения электроэнергии при перегрузке или коротком замыкании;
- установить автоматические средства оповещения о пожаре или задымлении в помещении лаборатории, установить средства самостоятельного тушения возникшего возгорания, например, ручной углекислотный огнетушитель.

При работе обязательно нужно использовать средства индивидуальной защиты органов зрения, дыхания и кожных покровов.

Для индивидуальной защиты рекомендуется применять:

- Защитные очки для защиты глаз;
- Респиратор или противогаз для предотвращения вдыхания ядовитых и токсичных газов при работе;
- Для защиты кожи необходимо использовать халат лабораторный с закрытием всех участков тела, кроме головы, а так же резиновые перчатки устойчивые к воздействиям на них кислот и щелочей.

При проведении испытаний на машине трения и анализе полученных данных используется компьютер, следовательно необходимо соблюдать режимы труда и отдыха и следить за утомляемостью организма. Так как в связи с усталостью

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		

человек становится более рассеянным и может совершать ошибки и тем самым нанести вред жизни и здоровью себя и окружающих.

Правила работы и меры предосторожности при работе в лаборатории

1) Работать с машиной трения разрешается только после прохождения инструктажа по технике безопасности по нахождению в лаборатории и по работе с машиной трения;

2) Не превышать максимально расчётный коэффициент трения при установлении нагрузки на образец вкладыша;

3) Соблюдать требования инструкции производителя по работе с машиной трения;

4) Следить за нагревом масла, во избежание его закипания или возгорания;

5) Помнить, что при работе образцы нагреваются;

6) Быть осторожным.

Для уменьшения или полного предотвращения вреда здоровью человека при исследовании и анализе полученных данных требуется:

1) Следует установить в помещении газоанализатор с функцией сигнализации при превышении предельно допустимых концентраций токсичных и канцерогенных веществ в воздухе;

2) Использовать защитные блокировки на открывающихся люках машины трения, чтобы после открытия двигатель автоматически отключался.

												Лист
												63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ							

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы было сделано:

1. Выполнен обзор существующих механических и химических методов обработки и подготовки металлического основания вкладыша подшипника скольжения для дальнейшего нанесения твёрдосмазочного слоя;

2. Рассмотрены существующие технологии нанесения антифрикционных и защитных покрытий, на основе металлических сплавов и композитных материалов;

3. Выявлены недостатки и произведена необходимая модернизация машины трения ИИ5018. Мы добились практически полной имитации работы двигателя внутреннего сгорания, благодаря доработкам появилась возможность точнее выставлять параметры температуры и давления циркулируемого масла в системе смазки;

4. Произведены испытания подшипников скольжения ВАЗ-21083 без покрытия для принятия эталона в исследованиях и с покрытиями: акрилового лака с разным составом присадок, эпоксидной смолой. По результатам испытаний мы видим, что момент трения при использовании полимерных покрытий позволяет добиться снижения момента трения в подшипнике в два и более раз, а так же увеличение ресурса вкладыша за счёт большей выносливости при усталостном изнашивании и лучшей абсорбирующей способностью по сравнению с привычными металлическими покрытиями.

По итогу испытаний и проведенной работе по обработке полученных значений можно сделать вывод, что антифрикционные в том числе композитные покрытия имеют потрясающий потенциал использования в автомобилестроении, авиастроении, медицине, энергетике, космосе и во множестве других областей.

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радин Ю.А., Суслов П.Г. Безызносность деталей машин при трении. Л.: Машиностроение. Ленинград отделение, 1989. – 229 с. (дата обращения: 15.06.2020).

2. Грилихес С.Я., Обезжиривание, травление и полирование металлов. Л.: Машиностроение. Ленинград отделение, 1983. – 101 с. (дата обращения: 15.06.2020).

3. Нордберг О., перевод с немецкого Иванов И., Травление и окрашивание, 1913. Изд. Книжного склада "Сухова А.Ф." (дата обращения: 17.06.2020).

4. Прокопьев В.Н., Усольцев Н. А., Задорожная Е.А. Основы триботехники: Текст лекций. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 131 с. (дата обращения: 14.06.2020).

5. Новое в строительстве – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/zhestyanye-raboty/elektrohimicheskoe-obezzhirivanie.shtml> (дата обращения: 03.05.2020).

6. Викиметалл – URL: <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/galvanika-metalla.html> (дата обращения: 11.06.2020).

7. CZL – URL: <https://www.czl.ru/applications/dip-coating-technology/> (дата обращения: 15.06.2020).

8. Алюфиниш – URL: <https://alufinish.ru/articles/280-fosfatirovanie?yclid=3230786142397823668> (дата обращения: 09.05.2020).

9. Станки эксперт – URL: <https://stankiexpert.ru/tehnologii/polirovka-metalla.html> (дата обращения: 19.06.2020).

10. Приказ Минобразования РФ от 19 декабря 2013 г. N 1367 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159671/ (дата обращения: 03.06.2020).

11. СТО ЮУрГУ 04 – 2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители:

					23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск:
Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с. (дата обращения: 03.06.2020).

					<i>23.03.03.2020.196.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66