

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

ОП «Транспортная инженерия»

Данасултан Ерик Бауржанулы

Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления
деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07108 – Транспортная инженерия

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

ОП «Транспортная инженерия»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
ДИПЛОМ КОРДАУА ЖІБЕРІЛДІ
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ ДИПЛОМА
Руководитель ОП
«Транспортная инженерия»,
доктор PhD
Камзанов Н.С.
« 13 » 06 2024г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Совершенствование технологии электролитического хромирования для
восстановлению деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу»

6B07108 – Транспортная инженерия

Выполнил

Данасұлтан Ерік Бауржанұлы

Рецензент
Доктор PhD,
ассоциированный профессор
АЛТУ университета

Бақыт Г.Б.,
« 30 » 06 2024г.



Научный руководитель
Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор
Токмурзина-Коберняк Н.А.
« 30 » 05 2024г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

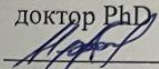
ОП «Транспортная инженерия»

6В07108 – Транспортная инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

«Транспортная инженерия»,
доктор PhD

 Камзанов Н.С.
« 13 » 12 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Данасултан Ерик Бауржанулы

Тема: «Совершенствование технологии электролитического хромирования для
восстановления деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу»

Утверждена приказом Ректора Университета за №548-П-Ө от 04.12.2023г.

Срок сдачи законченной работы «13» июня 2024г.

Исходные данные к дипломной работе: Чертеж 4 видов колесного диска, чертеж
колесного диска в разборе, тормозной диск.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Анализ существующих технологий и их недостатки;

б) Предложение и обоснование новых технологических решений;

б) Применение усовершенствованных технологий для восстановления деталей;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных
чертежей): представлены 15 слайдов презентации работы, чертежи на форматах А3.

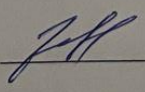
Рекомендуемая основная литература: из 19 наименований

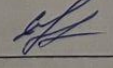
ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретическая часть. Общие сведения о гальванических ванн.	27.12.2023 – 20.03.2024	выполнено
Расчетно-технологическая часть. Расчет плотности осаждения, комбинированного покрытия.	25.03.2024 – 15.04.2024	выполнено
Предложения по применению новых технологий. Расчет затрат на хромирование при комбинированном способе, стандартным способом	17.04.2024 – 20.05.2024	выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к нему разделов работы

Наименование разделов	Консультанты (И.О.Ф., уч. степень, звание)	Дата Подписания	Подпись
Основные разделы дипломной работы	Токмурзиной-Коберняк Н.А., кандидат технических наук, ассоциированный профессор	10.06.2024г.	
Нормоконтролер	Альпеисов А.Т., кандидат технических наук, ассоциированный профессор	11.06.2024г.	

Научный руководитель  Токмурзиной-Коберняк Н.А.

Задание принял к исполнению обучающийся  Данасултан Е.Б.

Дата

"12" июнь 2024г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста су абразивті тозуға ұшыраған автомобиль бөлшектерін қалпына келтіру үшін электролиттік хромдау технологиясын жетілдіру қарастырылады. Негізгі назар біріктірілген жабындарды, соның ішінде хромды қолданар алдында никель мен мыстың ішкі қабаттарын қолдануға бағытталған. Зерттеулер көрсеткендей, бұл көп қабатты тәсіл жабынның адгезиясын, коррозияға төзімділігін және біркелкілігін айтарлықтай жақсартады, сонымен қатар автомобиль дөңгелектерінің тозуға төзімділігі мен беріктігін арттыра отырып, ішкі кернеулерді азайтады. Біріктірілген жабындардың анықталған артықшылықтары оларды өнімділік сипаттамаларын жақсарту және қарқынды пайдалану жағдайында бөлшектердің қызмет ету мерзімін ұзарту үшін оңтайлы шешім етеді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления автомобильных деталей, подверженных гидроабразивному износу. Основное внимание уделяется применению комбинированных покрытий, включающих подслои из никеля и меди перед нанесением хрома. Проведенные исследования показали, что такой многослойный подход значительно улучшает адгезию, коррозионную стойкость и равномерность покрытия, а также снижает внутренние напряжения, повышая износостойкость и долговечность автомобильных дисков. Выявленные преимущества комбинированных покрытий делают их оптимальным решением для повышения эксплуатационных характеристик и продления срока службы деталей в условиях интенсивной эксплуатации.

ABSTRACT

This thesis deals with the improvement of electrolytic chromium plating technology for the restoration of automotive parts subjected to hydro-abrasive wear. The main attention is paid to the application of combined coatings including nickel and copper sub-layers before chrome plating. Studies have shown that this multilayer approach significantly improves adhesion, corrosion resistance and coating uniformity, and reduces internal stresses, increasing the wear resistance and durability of automotive discs. The identified advantages of the combined coatings make them an optimal solution for enhancing the performance and extending the service life of parts in heavy-duty applications.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Обзор теоретических основ электролитического хромирования	8
1.1 Принципы электролитического хромирования. Химические и физические свойства хрома	11
1.2 Применение хромирования в восстановлении деталей машин	14
1.3 Гидроабразивный износ деталей автомобилей	16
1.4 Природа и механизмы гидроабразивного износа. Примеры деталей, подверженных данному виду износа	21
2 Совершенствование технологии электролитического хромирования. Комбинированные покрытия	25
2.1 Анализ существующих технологий и их недостатки	29
2.2 Предложение и обоснование новых технологических решений	37
2.3 Применение усовершенствованных технологий для восстановления	41
3 Экономическая часть	46
3.1 Расчет затрат на хромирование стандартным способом	46
3.2 Расчет затрат на хромирование при комбинированном способе	48
3.3 Сравнительный анализ	49
4 Безопасность жизнедеятельности	50
4.1 Охрана труда и техника безопасности	50
4.2. Электробезопасность	50
4.3 Средства индивидуальной защиты	50
4.4 Требования к производственным зданиям и цехам, работающими с металлопокрытиями	51
4.5 Вентиляция в цехах	51
4.6 Итоговый расчет вентиляционной системы	52
4.7 Освещение и водоснабжение цеха	53
4.8 Пожарная безопасность	53
Заключение	54
Список литературы	55
Приложение	56

ВВЕДЕНИЕ

Современная автомобильная промышленность предъявляет высокие требования к надежности и долговечности деталей, особенно тех, которые подвержены интенсивным механическим нагрузкам и агрессивным воздействиям окружающей среды. Автомобильные диски, являясь важной частью колесной системы, часто подвергаются гидроабразивному износу, что значительно снижает их эксплуатационные характеристики и срок службы. Традиционные методы восстановления, такие как однослойное хромирование, не всегда обеспечивают необходимую стойкость к износу и коррозии, особенно в труднодоступных местах, таких как щели и области вокруг болтов. В связи с этим, разработка и внедрение новых технологий восстановления, обеспечивающих более высокие эксплуатационные характеристики, является актуальной задачей. Цель данной дипломной работы состоит в совершенствовании технологии электролитического хромирования для восстановления автомобильных дисков, подверженных гидроабразивному износу, посредством применения комбинированных покрытий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Исследовать текущие технологии электролитического хромирования и выявить их недостатки в контексте восстановления автомобильных дисков.

Разработать методику применения комбинированных покрытий, включающих подслои из никеля и меди, с последующим нанесением хрома.

Провести экспериментальные исследования по нанесению комбинированных покрытий и оценить их адгезионные, коррозионные и износостойкие свойства.

Сравнить полученные результаты с традиционными методами хромирования и оценить экономическую эффективность новой технологии.

Разработать рекомендации по внедрению комбинированных покрытий в производственный процесс восстановления автомобильных дисков.

Научная новизна данной работы заключается в разработке и экспериментальном обосновании комбинированных покрытий для восстановления автомобильных дисков, включающих подслои из никеля и меди. Впервые предложен и обоснован комплексный подход, позволяющий значительно повысить эксплуатационные характеристики покрытий. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной технологии на практике для увеличения срока службы и надежности автомобильных дисков, что приведет к снижению эксплуатационных затрат и повышению безопасности эксплуатации транспортных средств.

1 Обзор теоретических основ электролитического хромирования

Электролитическое хромирование представляет собой процесс осаждения хромового покрытия на металлические поверхности путем электролиза. Этот метод основан на принципах электрохимии, где электролит, содержащий ионы хрома, используется в качестве среды для осаждения металлического хрома на катод. Основой процесса является анодное растворение хрома и его последующая электрохимическая редукция на катоде. В качестве электролита обычно применяется водный раствор хромового ангидрида (CrO_3) и серной кислоты (H_2SO_4). Хромовая кислота является источником ионов хрома (Cr^{6+}), которые, под воздействием электрического тока, восстанавливаются на катоде до металлического состояния (Cr^0). Электролитическое хромирование проводится в специальных ваннах при определенных условиях: температура, плотность тока, концентрация электролита и время процесса строго контролируются для получения качественного покрытия.

Ключевыми параметрами, влияющими на качество хромового покрытия, являются температура электролита, плотность тока, концентрация ионов хрома и добавки, способствующие улучшению свойств осаждаемого покрытия. Температура электролита обычно поддерживается в диапазоне 45-60 °C, что обеспечивает оптимальные условия для электрохимической реакции. Плотность тока варьируется в пределах 10-60 А/дм² в зависимости от требуемой толщины и свойств покрытия. Высокая плотность тока способствует образованию мелкокристаллической структуры хрома, что повышает его твердость и износостойкость. Важную роль играют также добавки в электролит, такие как катализаторы и ингибиторы, которые улучшают качество покрытия, повышают его равномерность и адгезию к подложке. Разработка оптимальных составов электролитов и режимов хромирования требует глубоких знаний в области электрохимии, материаловедения и технологии покрытий, что делает процесс электролитического хромирования сложным, но эффективным методом защиты и восстановления металлических деталей [1].

Процесс электролитического хромирования широко используется для повышения износостойкости трущихся деталей и их защиты от коррозии посредством защитно-декоративной отделки. Работа по его совершенствованию ведется постоянно, разрабатываются более эффективные электролиты и режимы работы, методы улучшения механических свойств хромированных деталей, что расширяет области применения хромирования. Лаборатории мировых промышленных компании ведут свои исследовательские работы в 3 направлениях: интенсификация процесса хромирования, изучение механических свойств и эксплуатационных качеств хромовых покрытий, а также механизация и автоматизация процесса хромирования. Настоящая работа направлена на изучение оптимизации процесса хромирования путем изменения состава электролита. Характерная

особенность электрохимически осажденного хрома заключается в зависимости его свойств от условий электроосаждения. В зависимости от условий электролиза (температура электролита и плотность тока) можно получить осадки хрома с различными физическими свойствами, в частности, по твердости и отражательной способности. Характер и количество трещин в хромовом осадке также регулируются режимом электролиза. Различают три вида электрохимических осадков хрома: молочный, блестящий и матовый. Молочный осадок имеет наименьшую твердость, малую пористость и наибольшую пластичность. В тонких слоях трещин не появляется, осадок хорошо полируется и может быть доведен до зеркального блеска. Блестящий хром отличается хрупкостью, высокой твердостью и износостойкостью. Матовые покрытия не имеют практического значения из-за низких физико-химических свойств. Положение границ областей хромовых осадков различных типов определяется в основном концентрацией электролита.



Рисунок 1.1 – Хромирование автомобильных дисков до и после

Выбор условий хромирования осложняется тем, что области получения наиболее твердых и износостойких покрытий расположены параллельно на диаграмме «плотность тока - температура электролита», т.е. не пересекаются.

Для осаждения твердых износостойких покрытий значительной толщины предложен так называемый суперсульфатный хромовый электролит, обладающий высокой рассеивающей способностью и стабильностью. Содержание серной кислоты в хромовом ангидриде определяется в пределах 12-25 % при исходной концентрации трехвалентного хрома 20-40 г/литр. Текущий выход составляет 20-25% [2]. Осадки имеют низкие внутренние напряжения с микротвердостью 1200-1600 кг/см².

Для интенсификации процесса хромирования было предложено множество электролитов на основе растворов хрома (VI) с различными неорганическими добавками, такими как кремнесодержащие соединения,

цинк, кадмий, магний и алюминий. Эти добавки позволяют увеличить выход по току до 17-20%. Кроме того, существует широкий класс органических веществ, которые можно использовать в качестве добавок для усиления процесса хромирования. Были предложены и исследованы электролиты хромирования на основе растворов хромовой кислоты с добавками галловой кислоты и метиленового голубого следующих составов (г/л): 1) хромовый ангидрид 200-250, серная кислота 2-3, галловая кислота 2-3; 2) хромовый ангидрид 200-250, серная кислота 2-3, метиленовый голубой 1-6. Температура осаждения для первого варианта составляет 45-55°C, для второго – 60-70°C.

Указанные добавки значительно расширяют верхний предел допустимых плотностей тока, при которых можно получать качественные хромовые осадки. Их введение в электролит хромирования приводит к снижению внутренних напряжений на 25-30%. Исследование микроструктуры показало, что увеличение содержания галловой кислоты от 0,5 до 3 г/л способствует выравниванию поверхности осадка, практически устраняя сетку трещин и питтинг. Аналогичный эффект наблюдается при добавлении от 1 до 5 г/л метиленового голубого. Осадки становятся более гладкими и блестящими по сравнению с осадками, полученными без добавок. Исследователи связывают все эти улучшения с воздействием добавок на структуру и свойства прикатодной пленки электролита, образующейся в ходе электролиза. Добавки стабилизируют пленку, что способствует увеличению выхода хрома по току. Например, при добавлении галловой кислоты (2 г/л) при температуре электролита 50°C выход по току увеличивается на 25%, а при добавлении метиленового голубого (2-5 г/л) при температуре электролита 70°C выход по току увеличивается на 15% по сравнению с выходом по току хрома из стандартного электролита [3].

Было изучено влияние органической добавки на физико-механические свойства хромовых осадков и на проведение процесса электролиза. В качестве базового электролита использовался стандартный электролит хромирования следующего состава (г/л): хромовый ангидрид 250, серная кислота 2,5, добавка 2-6. Введение добавки позволило получать качественные осадки при температуре 15-25°C в диапазоне плотностей тока от 50 до 1000 А/дм². Выход по току хрома увеличивался с возрастанием плотности тока в диапазоне от 100 до 800 А/дм² от 27 до 50%. При плотности тока ниже 100 А/дм² получались матовые осадки, при более высокой плотности – блестящие. С увеличением плотности тока сетка трещин на поверхности уменьшалась и при плотности выше 400 А/дм² практически исчезала. Осадки приобретали волокнистую структуру с высокой степенью измельчения.

Существует множество соединений, использование которых позволяет значительно интенсифицировать процесс хромирования и получать качественные хромовые осадки с требуемыми физико-механическими свойствами. Введение таких добавок не только улучшает внешний вид осадков, но и существенно повышает их эксплуатационные характеристики. Эти результаты показывают, что добавки играют ключевую роль в

стабилизации прикатодной пленки, что способствует увеличению выхода хрома по току и улучшению механических свойств осадков.

Большая чувствительность хромовых электролитов к содержанию сульфат-ионов и сложности их контроля и поддержания на постоянном уровне послужили основой для разработки электролитов с автоматически регулируемой концентрацией этих ионов. Саморегулирующиеся электролиты хромирования выделяются более высоким выходом по току, большей кроющей способностью и агрессивностью благодаря действию фторид-иона, включенного в состав электролита. Эти электролиты не требуют частой корректировки, позволяют использовать высокие плотности тока и обеспечивают блестящие осадки при больших толщинах.

Соотношение между анионами хромовой кислоты и сульфат-ионами поддерживается с помощью малорастворимых солей сернокислого стронция или бария и кремнефтористого кальция, присутствующих в избытке. Разработанный состав саморегулирующегося электролита хромирования (г/л) включает хромовый ангидрид 400–420, углекислый кальций 67–75 и сернокислый кобальт 15–20. Процесс проводится при плотности тока 150–200 А/дм² и температуре 18–23 °С, что обеспечивает повышение производительности и качества хромовых осадков. Полученные покрытия обладают высокой микротвердостью в интервале плотностей тока 900–1250 кг/см² и повышенной износостойкостью [4].

В области высоких температур (выше 60 °С) саморегулирующиеся электролиты позволяют получать хромовые покрытия с сатинообразным видом без трещин. Эти покрытия легко полируются до зеркального блеска, обладают высокими защитными свойствами и стойкостью к износу.

1.1 Принципы электролитического хромирования. Химические и физические свойства хрома

Преимущества хромирования широко известны. Этот металл обладает способностью покрываться прозрачной, пассивной пленкой, что увеличивает его коррозионную стойкость и предотвращает потемнение блестящих поверхностей. Однако сам хром не обеспечивает достаточной антикоррозионной защиты для стали, поэтому необходимо применение промежуточных слоев, таких как никель или никель-медь.

Хромовые покрытия разделяют на два типа в зависимости от их назначения: декоративные и функциональные. Декоративные покрытия обычно наносятся тонкими слоями на грубых промежуточных слоях, а функциональные могут быть нанесены непосредственно на сталь или другие материалы. Толщина функциональных покрытий может достигать нескольких миллиметров.

Декоративное хромирование нашло широкое применение в автомобильной промышленности и других отраслях, где требуются изделия с

высокими эстетическими и коррозионными характеристиками. С другой стороны, функциональное хромирование используется для покрытия инструментов, форм для отливки и других деталей, подверженных интенсивному механическому износу.

В процессе хромирования основной составляющей электролита является хромовый ангидрид, а также требуется катализатор, как правило, серная кислота. Эмалированные емкости для хромирования обладают низким катодным выходом по току и ограниченной кроющей способностью.

Кроме традиционных хромовых ванн с сульфатным катализатором, были разработаны другие варианты, такие как саморегулирующиеся ванны с кремнефтористоводородным катализатором. Однако такие ванны могут быть агрессивными и требуют тщательной изоляции изделий из стали.

Работа с растворами хромового ангидрида влечет за собой ряд трудностей, связанных как с его токсичностью, так и с трудоемкой технологией очистки сточных вод. Для обеспечения безопасности и минимизации рисков необходимо оборудование ванн для хромирования эффективной системой вытяжки, так как даже при отсутствии электрического тока выделяются пары, вредные для здоровья.

Еще одной проблемой являются материальные потери, обусловленные высоким содержанием хромового ангидрида, что приводит к значительным потерям электролита из ванны с деталями. Это требует использования специальных ванн для улавливания и часто применения двойных промывок. Рациональным решением для снижения материальных потерь может быть использование ванн с меньшим содержанием хромового ангидрида, что также требует дополнительных исследований.

Существует множество разработок ванн, включающих хромовый ангидрид и специально подобранные катализаторы, но такие ванны часто более сложны в обслуживании и не всегда подходят для использования в ремесленных мастерских. Универсальные ванны, пригодные как для технического, так и для декоративного хромирования, представляют собой хромовый ангидрид и серную кислоту в определенных пропорциях, что обеспечивает возможность нанесения различных типов покрытий при оптимальных параметрах процесса.

При подготовке раствора электролита в запасной ванне, обшитой поливинилхлоридом, важно учитывать содержание серной кислоты в добавляемом хромовом ангидриде. Согласно стандарту BN-76/6068-11, содержание серной кислоты в хромовом ангидриде для гальванотехнических целей не должно превышать 0,4%. Нормаль PN-70/C-84121 определяет четыре сорта хромового ангидрида (S, I, II и III), каждому из которых соответствует определенное допустимое содержание кислоты [5].

На упаковке хромового ангидрида должно быть обозначено его сортовое обозначение, что позволяет потребителю определить допустимый уровень содержания серной кислоты. В случае неопределенности относительно содержания кислоты, потребитель должен провести анализ приобретенного

продукта. Если это невозможно, рекомендуется подготовить ванну из хромового ангидрида, добавив лишь сахар в определенном количестве (1 г/л), отложив внесение серной кислоты до последующего определения химического состава.

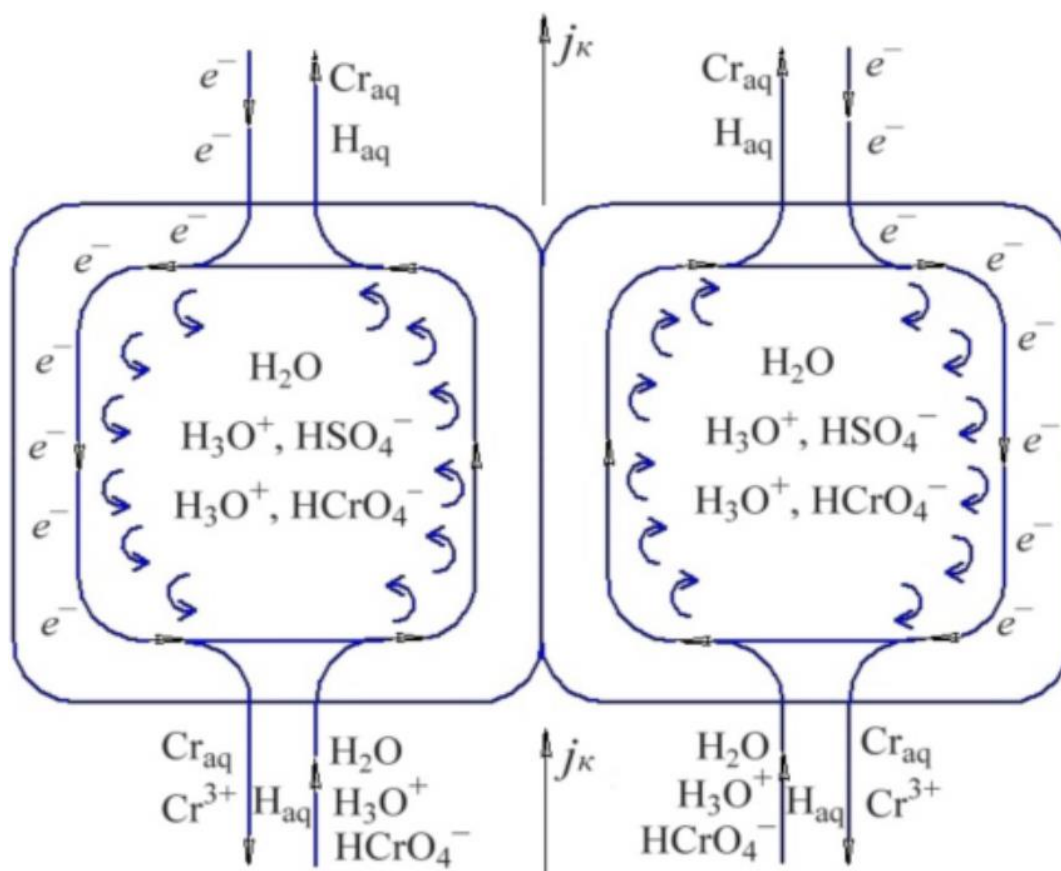


Рисунок 1.2 – Распределение встречных вещественно-зарядовых потоков в радиальном сечении примитивного вихревого тороидального паттерна или сопряжённой пары цилиндров катодной мезофазы в стационарном процессе хромирования между ДЭС катода (вверху) и газожидкостной дисперсией

После нагрева до рабочей температуры проводится тестирование хромирования изделий, предварительно покрытых блестящим никелем. Появление радужных оттенков на поверхности указывает на недостаток серной кислоты в ванне. Для компенсации добавляют 25 см³ 20%-ной серной кислоты на каждые 100 литров ванны. После тщательного перемешивания ванну снова подвергают тестированию, и если радужные оттенки сохраняются, добавляют новую порцию кислоты. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не появится нормальное хромовое покрытие и радужные оттенки прекратятся [6].

Иногда поставки хромового ангидрида содержат более 1% серной кислоты, что приводит к низкой кроющей способности хромовой ванны. Химический анализ может показать истинную концентрацию кислоты, и избыток ее можно скорректировать, добавив приблизительно 2 г карбоната бария на каждый грамм серной кислоты. После подготовки ванну проверяют

ареометром на плотность, а содержание хромового ангидрида определяют по таблице 6.

Цель функционального хромирования заключается в придании металлическому изделию специальных физических или химических свойств, таких как высокая твердость, износостойкость и устойчивость к химическим воздействиям. Хром обычно наносится на стальную подложку, которая предварительно подвергается механической и термической обработке. Если невозможно увеличить твердость подложки, то толщина хромового покрытия должна быть достаточной для обеспечения защиты от механических нагрузок.

Стальные изделия, подвешенные на подвесках с соответствующими вспомогательными катодами, экранами и добавочными анодами, помещаются в рабочую ванну и оставляются без включения тока до тех пор, пока они не прогреются до температуры ванны. Затем переключатель тока переводят в положение, соединяющее изделие с анодом и источником тока, и включают выпрямитель для анодного травления. Продолжительность травления составляет около 30 секунд при напряжении 6 В [7]. После травления требуется кратковременная пауза, чтобы пузырьки кислорода, образовавшиеся на поверхности изделий во время анодного цикла, оторвались, после чего можно включить катодный ток. В течение первых пяти минут применяется ударный ток при напряжении 8 В, а затем напряжение постепенно снижается до достижения требуемой силы тока, соответствующей данной поверхности.

Чугунные изделия очищают вручную, предварительно подготавливая их смесью извести с пумексом, и помещают в хромовую ванну без предварительного травления. Сначала поддерживается высокая плотность тока (80—100 А/дм²), а затем она постепенно уменьшается до 40—60 А/дм² после нескольких минут.

Медные и латунные изделия требуют подачи тока при помещении в хромовую ванну, поскольку они подвергаются травлению. Поэтому перед загрузкой в ванну их рекомендуется предварительно подогреть в горячей воде.

Несмотря на низкий выход по току, скорость осаждения функционального хрома велика из-за высокой плотности тока. Согласно таблице 8, за один час можно нанести слой толщиной 20—50 мкм [8]. Отмечается, что для восстановления изношенных деталей машин требуется непрерывное хромирование в течение нескольких десятков часов. Поэтому автоматическое регулирование параметров осаждения покрытия имеет большое значение.

1.2 Применение хромирования в восстановлении деталей машин.

Применение хромирования в восстановлении деталей машин является важной технологией, обеспечивающей продление срока службы и повышение эксплуатационных характеристик различных узлов и механизмов. Хромовые

покрытия обладают уникальными свойствами, такими как высокая твердость, износостойкость, коррозионная стойкость и низкий коэффициент трения, что делает их идеальными для восстановления деталей, подвергающихся интенсивным нагрузкам и воздействию агрессивных сред. В машиностроении хромирование используется для восстановления таких критически важных компонентов, как цилиндры и поршни двигателей, валы, шестерни, подшипники и другие детали, которые испытывают значительные механические нагрузки и подвергаются износу. Технология хромирования позволяет не только восстанавливать изношенные поверхности, но и улучшать их характеристики по сравнению с новыми деталями, что особенно важно для обеспечения надежности и долговечности машин.

Процесс восстановления деталей машин методом хромирования включает несколько этапов, начиная с подготовки поверхности, которая включает механическую обработку и тщательную очистку для удаления загрязнений и оксидных пленок. Затем деталь подвергается гальванической обработке в электролитической ванне, где на ее поверхность осаждается слой хрома. В зависимости от требований к восстановленной детали, толщина хромового покрытия может варьироваться от нескольких микрон до нескольких сотен микрон. После осаждения хрома проводится термическая обработка, которая обеспечивает снятие внутренних напряжений и улучшение адгезии покрытия. Завершающим этапом является финишная механическая обработка поверхности, включающая шлифовку и полировку, что придает детали необходимую геометрию и гладкость. В результате применения хромирования восстановленные детали получают высокую износостойкость и коррозионную стойкость, что существенно продлевает их срок службы и снижает затраты на техническое обслуживание и ремонт машин.

Автотранспортные предприятия, автосервисы и частные владельцы автомобилей обеспечиваются запасными частями путем изготовления новых деталей или восстановления использованных. Этот подход существенно снижает расход первичных материалов, энергии, труда и загрязнение окружающей среды, позволяя реновировать технические изделия, достигшие предельного состояния использования.

Весовой износ, приводящий, например, автомобиль к неэффективной эксплуатации, обычно не превышает 0,5%, а для деталей прецизионной группы этот показатель составляет около 0,1%. Таким образом, более чем 99% материала, уже потребленного при изготовлении, можно сохранить с минимальными потерями [9]. Это возможно технически, поскольку средний износ деталей составляет всего 0,1 мм, что требует намного меньше материала для восстановления по сравнению с изготовлением новых деталей. Существующие методы реновации позволяют восстанавливать детали до первоначальных параметров и улучшать их, при этом себестоимость не превышает 30% от стоимости новых деталей.

Среди прогрессивных методов реновации важное место занимает электролитическое осаждение хрома из-за его многих положительных

свойств. Однако этому процессу присущи определенные недостатки при электроосаждении хрома из растворов соединений с шестивалентным хромом, включая низкую производительность, высокую энергоемкость и значительные расходы на очистку сточных вод, содержащих хром.

В книге представлены различные точки зрения на механизм электроосаждения хрома, основанные на результатах исследований различных авторов, включая собственные исследования. На основе этих данных определены основные направления улучшения процесса и качества покрытий.

Электролитический хром отличается высокой твердостью, износостойкостью в различных условиях эксплуатации, жаростойкостью, противокоррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения, хорошей сцепляемостью с подложкой и привлекательным внешним видом. Нет другого гальванического процесса, который мог бы сравниться с электролитическим хромированием по разнообразию физико-механических и специфических свойств осадков. Это включает плотные и пористые покрытия, твердые и мягкие, блестящие и матовые, с различными оттенками, а также с различной износостойкостью и степенью напряжения. Эти свойства способствовали распространению использования хромирования в различных отраслях экономики.

Однако процесс электроосаждения хрома является одним из самых сложных в гальваностегии из-за высокого электроотрицательного потенциала восстановления хромат-ионов, наличия нескольких параллельных электрохимических реакций на катоде и необходимости введения в электролит определенных посторонних анионов и катионов. Экономическая стратегия восстановления деталей машин требует снижения затрат на единицу ресурса, поэтому применение энергосберегающих технологий является необходимостью. Твердые электролитические хромовые покрытия в полной мере отвечают основным требованиям к эксплуатации восстановленных деталей по своим физико-механическим характеристикам.

1.3 Гидроабразивный износ деталей автомобилей

Гидроабразивный износ является одной из наиболее распространенных и разрушительных форм износа деталей автомобилей, особенно тех, которые работают в условиях воздействия жидкости с твердыми частицами. Этот тип износа возникает, когда жидкость, содержащая абразивные частицы, контактирует с поверхностями деталей, вызывая их механическое повреждение и постепенное разрушение. Частицы абразива, находящиеся в потоке жидкости, ударяются о поверхность детали, вызывая микроудары и сколы, которые накапливаются со временем, приводя к значительному износу. В автомобильной промышленности гидроабразивному износу особенно подвержены такие компоненты, как насосы, форсунки, клапаны, трубопроводы и радиаторы, где наличие жидкостей с взвесями абразивных

частиц является обычным явлением. Песок, грязь и металлические частицы, попадающие в систему, ускоряют износ, сокращая срок службы деталей и повышая частоту их замены и ремонта.

Последствия гидроабразивного износа включают не только ухудшение эксплуатационных характеристик деталей, но и возможные аварийные ситуации из-за потери функциональности важных компонентов. Повышенный износ деталей приводит к снижению их герметичности, повышенному трению и, как следствие, увеличению энергозатрат на работу системы. Для борьбы с гидроабразивным износом используются различные методы и материалы, способные увеличить стойкость деталей к износу. Одним из эффективных решений является применение защитных покрытий, таких как хромирование, которое значительно увеличивает твердость и износостойкость поверхности. Хромовые покрытия создают барьер, защищающий основу детали от агрессивного воздействия абразивных частиц и жидкости. Кроме того, внедрение комбинированных покрытий, включающих подслои из никеля или меди, может улучшить адгезию и долговечность хромового слоя, обеспечивая еще более высокую защиту от гидроабразивного износа. Инженерные решения по улучшению дизайна деталей и систем фильтрации также играют важную роль в уменьшении количества абразивных частиц, попадающих в рабочие зоны, что в совокупности с применением защитных покрытий существенно снижает риск гидроабразивного износа [10].



Рисунок 1.3 – Последствия гидроабразивного износа

Причины возникновения:

- Во время движения автомобильные колеса постоянно контактируют дорогой
- Воздействие воды и грязи
- Механические нагрузки
- Температурные колебания
- Химическое воздействие
- Качество материалов и покрытия

Меры по снижению гидроабразивного износа:

- Использование качественных материалов

- Регулярная очистка и уход
- Использование защитных покрытий
- Хромирование, никелирование, Вакуумно-плазменные процессы, Детонационно-газовое напыление

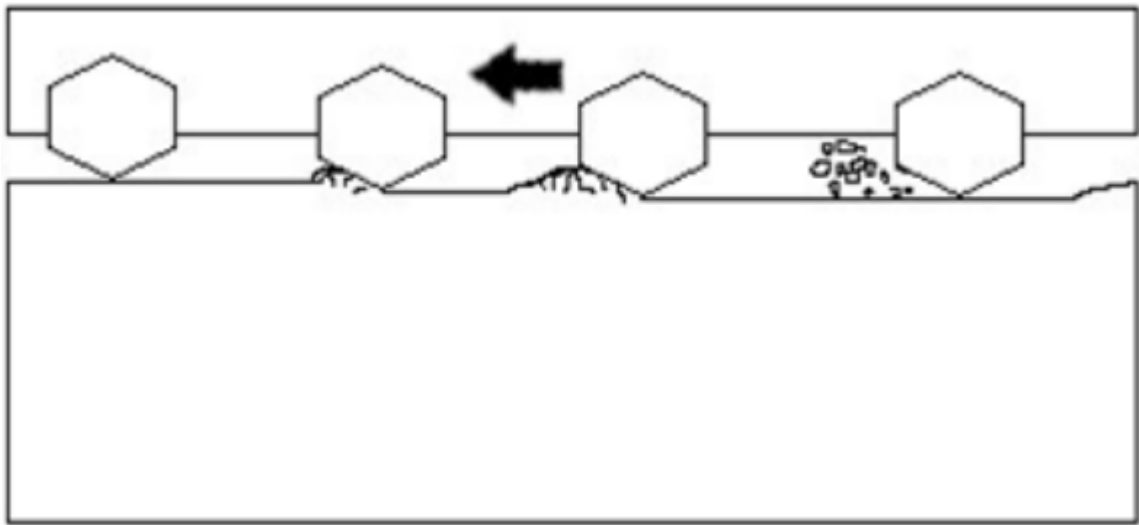


Рисунок 1.4 - Абразивный износ

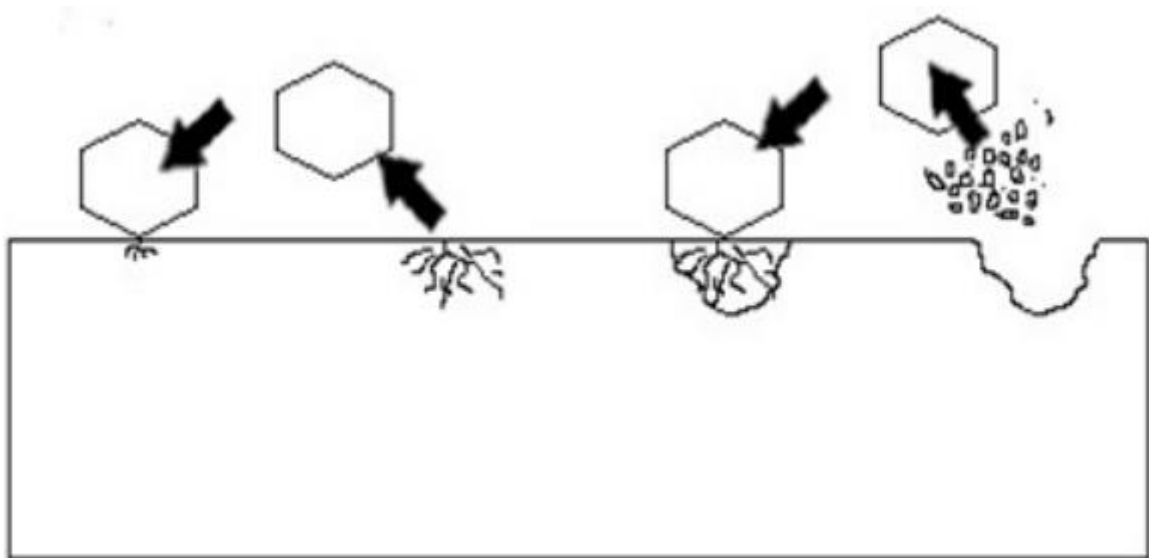


Рисунок 1.5 - Гидроабразивный износ

Принцип работы аппаратов гидроабразивной резки основан на воздействии высокоскоростной гидроабразивной струи на преграду из определенного материала, что приводит к интенсивному вымыванию этого материала. При скоростях ниже 100 м/с происходит интенсивный гидроабразивный износ обтекаемой преграды за счет механического воздействия на материал твердых частиц, перемещаемых потоком жидкости. Этот процесс применяется, например, для разрушения материала в лопастях и камерах гидротурбин, пульпопроводах гидротранспорта, рабочих колесах центробежных насосов и других устройствах. Разрушение материала

происходит в результате срезания, выкрашивания и выбивания его поверхностных частиц абразивными частицами. Также может происходить усталостное разрушение поверхности материала из-за многократного пластического деформирования.

Для тестирования материалов, предназначенных для работы в условиях гидроабразивного износа, применяются различные методы, которые могут быть классифицированы на две основные группы. Методы первой группы включают перемещение испытуемого образца, часто его вращение, в емкости, наполненной жидкостью с абразивными включениями. Однако эти методы имеют недостатки, связанные с неоднородностью концентрации абразивных частиц в жидкости из-за их оседания на дно емкости, что снижает точность и воспроизводимость тестирования. Методы второй группы, напротив, предполагают воздействие потока жидкости с абразивом на закрепленный образец, обеспечивая более точный контроль концентрации абразива. Например, один из таких методов включает использование струи жидкости с абразивными частицами и низкоконцентрированными химически активными добавками на испытуемом образце. При этом концентрация абразивных частиц регулируется в диапазоне $100 \div 1000$ мг/л, а концентрация химически активных добавок, таких как кислоты, составляет $1,5 \div 5,0$ % [11]. Данный метод обеспечивает более точную имитацию условий эксплуатации, например, погружных центробежных насосов, применяемых при добыче нефти.

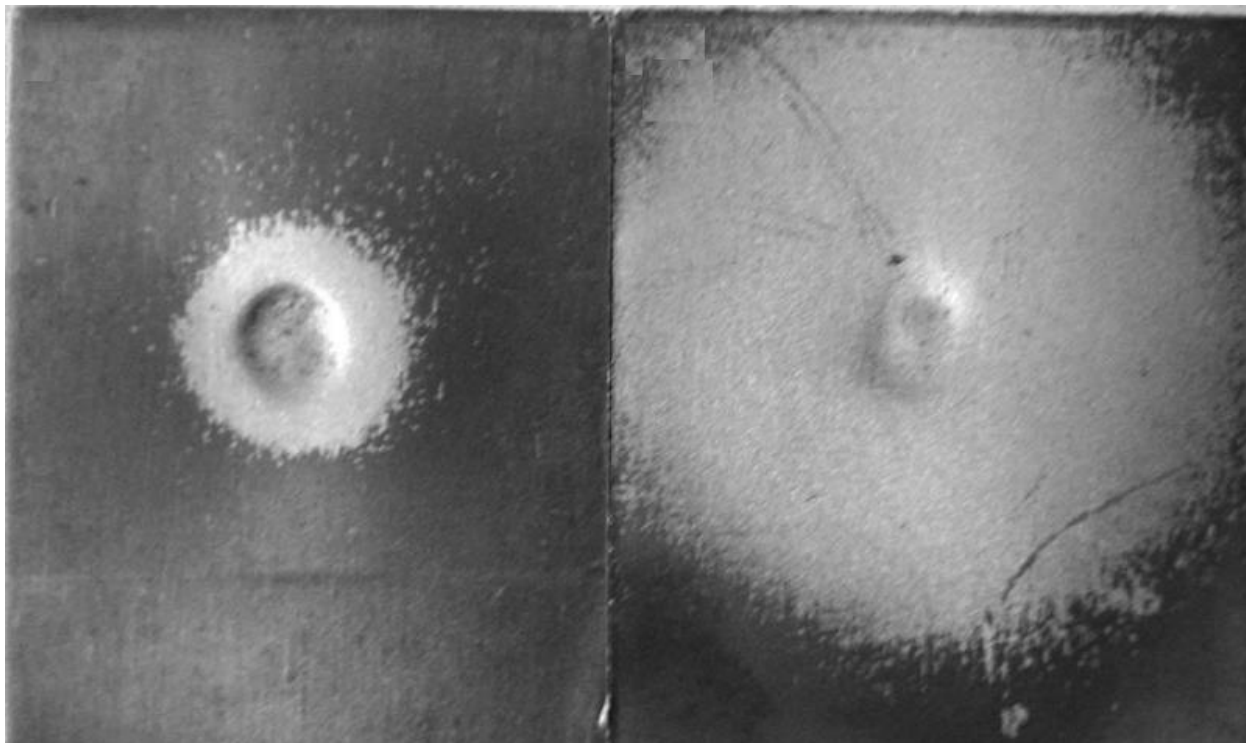


Рисунок 1.6 - Воздействие гидроабразивной струи

Как видно из табличных данных, при увеличении длины струи в воздухе от 10 до 75 мм происходит постепенное увеличение износа, хотя при

дальнейшем увеличении длины до 230 мм износ начинает уменьшаться. При этом ширина овального следа обработки непрерывно увеличивается с увеличением длины струи. Например, при длине 10 мм ширина составляет приблизительно 10 мм, а при длине 75 мм уже около 16 мм. Однако после достижения длины 100 мм ширина овального следа практически перестает изменяться. Это указывает на то, что при малых значениях длины струи увеличение производительности периферийной области струи происходит за счет незначительного уменьшения скорости. При этом формирование лунки центральной областью струи происходит наиболее интенсивно в начале процесса, но затем замедляется, вероятно, из-за образования гидравлической подушки.

Формирование лунки и области периферийного износа соответствует характерным зонам течения затопленной струи, сталкивающейся с плоской преградой. Когда струя направляется на преграду, можно выделить несколько областей течения. На поверхности преграды образуется зона торможения натекающей жидкости, где толщина этой зоны составляет примерно $0,25L$ в направлении нормали. В центре области торможения (вдоль оси струи) формируется лунка, радиус которой составляет около $4R_0$. Вокруг области торможения существуют область пристенного течения и, далее, область отрыва потока. Эта картина течения соответствует случаю соударения струи с преградой под нормальным углом, и она сохраняется при соударении под другими углами. Например, при $R_0 = 2$ мм радиус зоны торможения составляет 8 мм. Рассматривая следы воздействия гидроабразивной струи на преграду, можно понять картину обтекания. При соударении с препятствием (в зоне торможения) и растекании (в области пристенного течения) струи наблюдается износ поверхности из-за абразивных частиц, в то время как в области отрыва потока гидроабразивного воздействия не происходит. Следовательно, граница пятна износа совпадает с линией отрыва потока.



1.4 Природа и механизмы гидроабразивного износа. Примеры деталей, подверженных данному виду износа.

Гидроабразивный износ характеризуется сложным взаимодействием между жидкостью и твердыми частицами, вызывающим разрушение поверхностей деталей. Природа этого износа обусловлена наличием абразивных частиц в рабочей жидкости, которые могут быть различного размера и формы, начиная от мелкого песка и заканчивая крупными металлическими фрагментами. Когда эти частицы с высокой скоростью переносятся потоком жидкости, они сталкиваются с поверхностью деталей, вызывая механическое повреждение. Основными механизмами гидроабразивного износа являются эрозия, где частицы удаляют материал с поверхности через серию ударов, и микрорезание, при котором абразивные частицы действуют как режущие инструменты, создавая микроцарапины и выемки. Эти процессы приводят к постепенной потере материала, снижению прочности и функциональных характеристик деталей.

Механизмы гидроабразивного износа включают несколько этапов. На первом этапе частицы ударяются о поверхность, вызывая локализованные пластические деформации и микроскопические повреждения. Со временем эти микрповреждения накапливаются, что приводит к образованию трещин и выемок. Второй этап включает распространение трещин и дальнейшее разрушение материала под действием повторных ударов и трения абразивных частиц. Этот процесс усиливается наличием в жидкости агрессивных химических веществ, которые могут вызывать коррозию, способствуя ускоренному разрушению материала. Взаимодействие коррозии и абразивного износа приводит к синергетическому эффекту, значительно увеличивающему скорость износа. В итоге, гидроабразивный износ вызывает значительные изменения в микроструктуре и макроструктуре материала, что приводит к потере функциональности и снижению срока службы деталей. Понимание природы и механизмов гидроабразивного износа позволяет разработать эффективные стратегии защиты и восстановления деталей, такие как улучшенные защитные покрытия, использование износостойких материалов и оптимизация конструкции деталей для минимизации воздействия абразивных частиц.

Коррозионное разрушение вызывается химическим и физико-химическим взаимодействием поверхности детали с окружающей средой, что, как правило, приводит к снижению основных эксплуатационных характеристик материала. Примером является процесс "превращения" стали в ржавчину под воздействием воды и кислорода. Особый интерес представляет

коррозионно-механическое разрушение в контексте работы пар трения, которое проявляется в усилении изнашивания материала, ослабленного в результате коррозии. Этот процесс можно проиллюстрировать следующим образом: сталь может быть обработана только достаточно прочным и твердым инструментом, в то время как ржавчина (результат коррозионного разрушения стали) может быть разрушена даже ногтем.

Водородное изнашивание происходит, когда ионы водорода проникают вглубь поверхности детали. Сталь, как сплав железа и углерода, подвержена этому явлению, поскольку водород имеет большее сродство к углероду, чем к железу. В результате ион водорода "забирает" атом углерода от железа и формирует с ним молекулу метана (CH_4) [12]. Эта молекула, имея большие размеры, начинает местно растягивать материал, создавая в нем напряжения. Кроме того, разрушение облегчается тем, что металл начинает растягиваться в области, освобожденной от углерода (из-за чего прочность материала снижается). В результате водородное изнашивание не только приводит к интенсификации других видов изнашивания, но и само по себе способствует разупрочиванию материала из-за воздействия водорода.



Рисунок 1.8 – Скол из-за гидроабразивного износа на подшипнике колеса

Оценка эффективности абразивного материала в практике шлифования обычно проводится на шлифовальных станках. Однако такая оценка не всегда является однозначной, поскольку недостатки изготовления инструмента, неоптимальная структура круга и режимы обработки могут скрыть или исказить достоинства или недостатки того или иного вида абразивного материала. Это затрудняет разработку научно обоснованных норм подбора абразивного материала для различных классов обрабатываемых материалов. Важно отметить, что окончательным критерием правильности выбора

абразивного материала является процесс шлифования, который должен демонстрировать оптимальные результаты после всех исследований и анализа.

Одним из ярких примеров деталей, подверженных гидроабразивному износу, являются лопатки и корпуса насосов, используемых в автомобилях. Насосы, особенно те, которые работают с охлаждающими жидкостями и системами смазки, часто сталкиваются с наличием твердых частиц в жидкости. Эти частицы, циркулируя вместе с потоком, непрерывно ударяются о лопатки и внутренние поверхности корпуса насоса, вызывая износ. В результате этого воздействия поверхность деталей теряет свою гладкость, появляются микротрещины и выемки, что приводит к снижению эффективности насоса и увеличению энергозатрат на его работу. Кроме того, износ может вызвать утечки, снижение давления и даже поломку насоса, что требует частых ремонтов и замен деталей, увеличивая эксплуатационные расходы.

Еще одним примером деталей, подверженных гидроабразивному износу, являются цилиндры и поршни двигателей. В процессе работы двигателя, особенно в тяжелых условиях эксплуатации, таких как внедорожное вождение или движение по пыльным дорогам, в масло и топливо могут попадать абразивные частицы. Эти частицы, находясь в системе смазки или топливной системе, приводят к износу цилиндров и поршней. Постоянное воздействие абразивных частиц вызывает микроскопические повреждения на поверхностях цилиндров, что приводит к увеличению трения и снижению эффективности работы двигателя. Поршни, сталкиваясь с абразивными частицами, могут терять свою геометрию, что приводит к ухудшению компрессии и увеличению расхода топлива. Для предотвращения таких проблем используются специальные защитные покрытия и фильтры, однако, несмотря на эти меры, гидроабразивный износ остается значительной проблемой в эксплуатации автомобильных двигателей.

Выявление гидроабразивного износа деталей автомобилей является критически важным для поддержания их надлежащего состояния и предотвращения дорогостоящих поломок. Одним из основных методов диагностики данного типа износа является визуальный осмотр. Визуальный осмотр включает тщательное исследование поверхностей деталей на наличие царапин, трещин, выемок и других признаков механического повреждения. Этот метод часто используется в сочетании с оптическими инструментами, такими как микроскопы или эндоскопы, которые позволяют детально рассмотреть мелкие дефекты и повреждения. Визуальный осмотр может быть дополнен применением современных технологий, таких как цифровые камеры с высоким разрешением, которые обеспечивают точную фиксацию состояния поверхностей и возможность последующего анализа изображений.

Другим важным методом выявления гидроабразивного износа является использование неразрушающего контроля (НК). Среди методов НК, наиболее часто применяемых для диагностики износа, можно выделить ультразвуковую дефектоскопию, рентгенографию и магнитопорошковый контроль.

Ультразвуковая дефектоскопия позволяет обнаруживать внутренние дефекты и трещины в материале, которые не видны при визуальном осмотре. Рентгенография используется для получения изображения внутренней структуры деталей и выявления скрытых повреждений, таких как пустоты и трещины, вызванные гидроабразивным износом. Магнитопорошковый контроль применяется для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в ферромагнитных материалах. Этот метод основан на намагничивании детали и нанесении на ее поверхность мелкодисперсного магнитного порошка, который скапливается в местах дефектов, делая их видимыми. Все эти методы неразрушающего контроля позволяют своевременно обнаруживать гидроабразивный износ, оценивать его степень и принимать меры по восстановлению и защите деталей, обеспечивая их долгосрочную эксплуатацию и надежность.

2 Совершенствование технологии электролитического хромирования. Комбинированные покрытия

Совершенствование технологии электролитического хромирования направлено на повышение эффективности процесса, улучшение качества покрытий и снижение экологической нагрузки. Одним из ключевых направлений совершенствования является оптимизация состава электролита. Традиционный электролит на основе хромового ангидрида (CrO_3) и серной кислоты (H_2SO_4) обладает высокой токсичностью и агрессивностью, что требует применения сложных систем очистки и утилизации отходов [13]. Современные исследования направлены на разработку альтернативных электролитов, которые содержат менее токсичные соединения хрома или полностью заменяют его на другие материалы, такие как тривалентный хром (Cr^{3+}). Такие электролиты не только менее вредны для окружающей среды, но и позволяют получать покрытия с улучшенными свойствами, например, с более высокой коррозионной стойкостью и твердостью.

Еще одним важным аспектом совершенствования технологии электролитического хромирования является внедрение автоматизированных систем управления процессом. Современные автоматизированные системы позволяют более точно контролировать параметры процесса, такие как температура, плотность тока, концентрация ионов хрома и добавок в электролите. Это обеспечивает высокую стабильность и повторяемость результатов, минимизируя дефекты покрытия. Использование компьютерного моделирования и симуляции процессов хромирования позволяет оптимизировать режимы осаждения покрытия и предсказывать его свойства, что значительно ускоряет разработку новых технологий и материалов. Дополнительно, интеграция систем мониторинга в реальном времени позволяет оперативно реагировать на любые отклонения в процессе и корректировать параметры для поддержания высокого качества покрытия. Таким образом, совершенствование технологии электролитического хромирования включает как улучшение химического состава электролитов, так и внедрение передовых методов контроля и управления процессом, что в совокупности обеспечивает получение высококачественных и экологически безопасных покрытий для восстановления и защиты деталей автомобилей.

Комбинированные покрытия представляют собой многослойные системы, в которых каждый слой выполняет свою специфическую функцию, обеспечивая улучшенные эксплуатационные характеристики деталей. В основе технологии комбинированных покрытий лежит принцип сочетания различных материалов с целью максимального использования их преимуществ и минимизации недостатков. Например, в автомобильной промышленности широкое применение находят покрытия, состоящие из подслоя никеля или меди, на который наносится верхний слой хрома. Никелевый или медный подслой обеспечивает отличную адгезию хромового покрытия к подложке, улучшает коррозионную стойкость и выравнивает

поверхность детали, создавая идеальную основу для нанесения хрома. Верхний слой хрома, в свою очередь, придает детали высокую твердость, износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред.

Применение комбинированных покрытий особенно эффективно для деталей, подверженных сложным условиям эксплуатации, таким как гидроабразивный износ. Например, для восстановления автомобильных колесных дисков, которые постоянно подвергаются воздействию воды, грязи и химических реагентов, комбинированные покрытия позволяют существенно продлить срок службы этих деталей. Хромирование в комбинации с никелевым подслоем обеспечивает не только высокую стойкость к механическим повреждениям, но и отличную защиту от коррозии. Кроме того, комбинированные покрытия могут быть адаптированы для специфических условий эксплуатации. Так, использование дополнительных слоев из других материалов, таких как кобальт или молибден, позволяет создать покрытия с уникальными свойствами, например, повышенной жаропрочностью или улучшенными антифрикционными характеристиками. Таким образом, технология комбинированных покрытий открывает широкие возможности для разработки инновационных решений в области защиты и восстановления автомобильных деталей, обеспечивая их надежную и долговечную работу в самых экстремальных условиях.

Таблица 2.1 - Внешний вид хромированных образцов после термообработки в течение 3 циклов

Температура термообработки, °C					
400		650		800	
Стандартное хромовое покрытие	Хромомолибденовое покрытие	Стандартное хромовое покрытие	Хромомолибденовое покрытие	Стандартное хромовое покрытие	Хромомолибденовое покрытие
					

Существует информация о том, что стандартное хромовое покрытие, произведенное из обычных электролитов хромирования согласно ГОСТ 9.305–84, может выдерживать рабочую температуру до 450°C. Из рисунка 1 видно, что твердость обычного хромового покрытия остается постоянной до 400°C, и при этом структура кристаллической решетки не меняется.

После того как покрытие нагревается до 500°C, происходит частичная рекристаллизация, а при температуре 700°C и выше происходит полная

рекристаллизация хромового покрытия с образованием отдельных слоев сплава хромжелеза и слоя нитридов (образовавшихся за счет азота из воздуха и стали). В результате рекристаллизации твердость хрома снижается более чем в 5 раз, а средний размер зерен увеличивается более чем в 50 раз [14].

Таким образом, создание многофункциональных хромовых покрытий, которые могут быть как износостойкими, так и способными выдерживать высокие температуры, позволит расширить область применения хромирования в авиационной промышленности. Это включает в себя не только хромирование обычных деталей планера, но и хромирование деталей, которые подвергаются высоким температурам, таких как детали газотурбинного двигателя (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ).

Электролитический хром представляет собой металл серебристо-белого цвета с небольшим голубоватым оттенком. Его удельный вес составляет от 6,9 до 7,1, а температура плавления достигает 1530°C. Этот материал обладает рядом ценных физико-химических характеристик, благодаря которым он широко применяется в промышленности. Твердость электролитического хрома, измеряемая в единицах Бринелля, составляет 1000—1100, что существенно превышает твердость закаленной стали. Эти выдающиеся характеристики, включая высокую износостойкость, низкий коэффициент трения, жаропрочность и высокую устойчивость к коррозии, делают его привлекательным материалом для хромирования деталей.

Хромированные изделия обладают высокими декоративными свойствами, отличаясь от никелированных изделий своим характерным голубоватым оттенком. При нагревании до 450—500° С хромовые покрытия сохраняют свой внешний вид, не подвергаясь окислению. Они также обладают отличной отражательной способностью, уступая в этом лишь серебру. Важно отметить, что хромовые покрытия сохраняют свои качества со временем, в то время как серебро может потемнеть и потерять свою отражательную способность [15].



Рисунок 2.1 – Процесс хромирования дисков

Напыление хрома:

- Включает методы, такие как вакуумное напыление или термораспыление, где хром наносится на поверхность детали в виде тонкого слоя при помощи специального оборудования.

1. Подготовка поверхности детали

Очистка и обезжиривание:

Перед хромированием деталь необходимо тщательно очистить от загрязнений, масел и других посторонних веществ. Это делается с помощью механических (например, шлифовка, пескоструйная обработка) и химических методов (обезжиривающие растворы, ультразвуковая очистка).

Механическая обработка:

Поверхность детали может быть предварительно обработана механически для удаления следов износа и создания необходимой шероховатости. Это улучшает адгезию хромового покрытия.

2. Электролитическое обезжиривание

Деталь помещают в электролитическую ванну, где с помощью электрического тока проводится обезжиривание. Это помогает удалить остаточные загрязнения и активировать поверхность для нанесения покрытия.

3. Активирование поверхности

Поверхность детали подвергается обработке в активирующем растворе (например, кислотном травлении), что улучшает адгезию хромового покрытия и подготавливает металл к следующему этапу.

4. Нанесение подслоя (опционально)

Для улучшения адгезии и повышения коррозионной стойкости на деталь может быть нанесен подслоя из никеля или меди. Этот процесс также проводится в электролитической ванне.

5. Электролитическое хромирование

Процесс хромирования:

Деталь помещают в ванну с хромовым электролитом, который обычно содержит раствор хромовой кислоты (CrO_3) и серной кислоты (H_2SO_4).

Подача электрического тока через анод и катод вызывает осаждение атомов хрома на поверхность детали.

Контролируемые параметры:

Плотность тока, температура электролита, концентрация раствора и время осаждения тщательно регулируются для обеспечения равномерного и качественного покрытия.

6. Контроль и проверка покрытия

После завершения процесса хромирования деталь промывают в чистой воде, чтобы удалить остатки электролита.

Проводится контроль качества покрытия, включая измерение толщины, проверку равномерности покрытия, адгезии, а также тесты на износостойкость и коррозионную стойкость.

7. Финишная обработка

Поверхность детали может быть дополнительно полирована для достижения необходимой гладкости и блеска.

Иногда проводится пассивация покрытия для улучшения его коррозионной стойкости.

8. Заключительная проверка и упаковка

Восстановленная деталь проходит финальную проверку качества, после чего её маркируют, упаковывают и подготавливают к использованию или отправке заказчику.

Преимущества электролитического хромирования для восстановления деталей:

Высокая износостойкость: Хромовые покрытия значительно увеличивают срок службы восстановленных деталей, особенно в условиях гидроабразивного износа.

Коррозионная стойкость: Хромовые покрытия защищают детали от коррозии, что особенно важно для автомобильных деталей, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Восстановление геометрии: Хромирование позволяет восстановить первоначальные размеры и форму изношенных деталей, обеспечивая их функциональность и совместимость с другими компонентами.

Экономическая эффективность: Восстановление деталей с помощью хромирования является более экономичным по сравнению с заменой на новые, что снижает эксплуатационные расходы.

Плюсы:

Высокая износостойкость

Коррозионная стойкость

Низкий коэффициент трения

Эстетическое улучшение

Точная контрольная толщина покрытия

Применение к различным материалам

Минусы:

Экологические и санитарные проблемы

Высокие энергозатраты

Сложность процесса

Риск образования дефектов

Затраты на оборудование и материалы

2.1 Анализ существующих технологий и их недостатки

Компания California Chrome Wheel, специализирующаяся на хромировании и никелировании автомобильных деталей, является примером успешного применения технологии электролитического хромирования в условиях конвейерного производства. Основное направление деятельности компании включает обработку как новых, так и бывших в употреблении дисков, ежедневно выпуская до 70 единиц продукции [16]. Эффективная

организация производственного процесса и высокие стандарты качества позволяют California Chrome Wheel восстанавливать и улучшать эксплуатационные характеристики автомобильных дисков, обеспечивая их долгосрочную и надежную работу.

Процесс электролитического хромирования начинается с подготовки поверхности дисков. Этот этап включает механическую очистку, пескоструйную обработку и обезжиривание, что позволяет удалить все загрязнения, оксидные пленки и остатки старых покрытий. Тщательная подготовка поверхности является ключевым фактором, обеспечивающим высокую адгезию последующего хромового покрытия и его долговечность.

Таким образом при механической очистке диска мы должны учитывать площадь поверхности и требуемую глубину удаления материала. Площадь поверхности диска рассчитывается формулой:

$$A \approx \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2, \quad (2.1)$$

В нашем случае стандартный диаметр всех дисков на легковые машины $d = 500$ мм. Подставив значение на формулу 2.1, получим:

$$A \approx \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{500}{2} \right)^2 = 196.350 \approx 0.196 \text{ м}^2$$

После того, как мы получили площадь поверхности диска, мы должны понять объем удаляемого материала при механической обработке и шлифовке.

В среднем при шлифовке удаляется толщина слоя $t = 0.1$ мм

Таким образом объем удаляемого материала равен $A \cdot t = 0,0000196 \text{ м}^3$.



Рисунок 2.2 – Процесс подготовки поверхности дисков

После приемки колеса проходят инспекцию, в ходе которой они проверяются на наличие дефектов и соответствие техническим требованиям. Инспекция включает визуальный осмотр, сверку с прилагаемыми документами и фиксацию состояния колес с помощью фотографий. Этот этап является критически важным, так как позволяет выявить любые предварительные дефекты, которые могут повлиять на качество конечного покрытия. На каждом колесе выгравировается уникальный номер отслеживания, который позволяет контролировать и документировать процесс обработки на всех его этапах. Система отслеживания обеспечивает прозрачность и точность выполнения заказов, а также помогает в управлении логистикой и складским учетом.

Все краски и грунтовки удаляются при низкой температуре, чтобы предотвратить деформацию колес. Этот процесс осуществляется с использованием химических растворителей или специализированного оборудования, которое эффективно снимает старое покрытие, не повреждая базовый материал колеса. Удаление старых покрытий необходимо для обеспечения качественной адгезии нового хромового слоя.

После идёт этап химического обезжиривание поверхности диска. Для этого мы должны выбрать раствор при котором будет проведено обезжиривание. В нашем случае подходят 3 раствора: Щелочной (NaOH), Кислотный (H₂SO₄), Органический (ацетон). В таблицу 2.2 – приведен сравнительный анализ.

Таблица 2.2 – Сравнительный анализ растворов

Параметр	Раствор 1: Щелочной (NaOH)	Раствор 2: Кислотный (H ₂ SO ₄)	Раствор 3: Органический (ацетон)
Состав	NaOH – 50 г/л	H ₂ SO ₄ – 200 г/л	Ацетон – чистый
Концентрация	50 г/л	200 г/л	100%
Температура обработки	50-60°C	20-30°C	Комнатная температура (20- 25°C)
Время обработки	10-15 минут	5-10 минут	1-5 минут
Эффективность	Высокая	Высокая	Высокая
Коррозионная активность	Низкая (при правильном использовании)	Высокая (может вызвать коррозию металлов)	Низкая (но может повредить некоторые покрытия)
Экологическая безопасность	Умеренная	Низкая	Низкая
Стоимость	Низкая	Умеренная	Высокая

Удаление органических загрязнений	Высокая	Умеренная	Высокая
Удаление неорганических загрязнений	Высокая	Высокая	Низкая
Остатки после обработки	Легко смываются	Трудно смываются	Летучие, быстро испаряются

Щелочной раствор NaOH эффективно удаляет как органические, так и неорганические загрязнения, что делает его универсальным для различных типов поверхностных загрязнений.

Кислотные растворы, такие как H_2SO_4 , также эффективны, но могут быть агрессивными к некоторым материалам.

Органические растворители, например, ацетон, эффективны для удаления органических загрязнений, но менее эффективны для неорганических.

Щелочные растворы требуют умеренно повышенной температуры и времени для достижения максимальной эффективности.

Кислотные растворы действуют быстрее, но требуют строгого контроля температуры и времени, чтобы избежать повреждения материала.

Органические растворители работают при комнатной температуре и требуют минимального времени, но их использование ограничено из-за летучести и потенциальной токсичности.

Щелочные растворы при правильном использовании обладают низкой коррозионной активностью, что делает их безопасными для большинства металлов.

Кислотные растворы могут вызвать коррозию и требуют тщательной промывки после обработки.

Органические растворители имеют низкую коррозионную активность, но могут повредить некоторые покрытия и являются пожароопасными.

Таким образом наш выбор это щелочной раствор NaOH - Концентрация: 50 г/л. Время обработки: 10-15 минут при 50-60°C. Если взять в пример среднюю ванну объемом $V=100$ л. То масса NaOH будет:

$$m = c * V = 50 * 100 = 5000\text{г} = 5 \text{ кг}, \quad (2.2)$$



Рисунок 2.3 – Процесс удаления красок и механическая шлифовка поверхности дисков

После удаления краски и грунтовки колеса тщательно промываются, чтобы удалить остатки химических растворов. Все использованные растворы собираются и перерабатываются в соответствии с экологическими стандартами. Это важный этап, направленный на минимизацию экологического воздействия и обеспечение безопасности производственного процесса.

На этом этапе процедура доводит до блеска губы и внешние края колес. Полуавтоматическая обработка включает использование машинного оборудования, которое шлифует и полирует поверхности до зеркального блеска. Этот процесс позволяет достичь высокой точности и равномерности обработки, что важно для последующего нанесения хромового покрытия.

Детальная полировка ручными инструментами необходима для обработки рельефных участков колеса, таких как окна и другие сложные поверхности. Этот этап требует высокой квалификации рабочих и использования специализированных инструментов, которые позволяют добраться до труднодоступных участков и обеспечить их идеальную гладкость и чистоту.

Финальная полировка – заключительная процедура, которая полирует крупные лицевые участки колеса до зеркального блеска. Особое внимание уделяется обработке плоской части колеса для устранения волн в материале. Этот этап гарантирует, что поверхность готова к нанесению химических и гальванических покрытий, обеспечивая высокое качество и эстетичный внешний вид конечного изделия [17].



Рисунок 2.4 – Финальная полировка и травление поверхности в химической ванне

После механической обработки колеса подвергаются различным химическим ваннам для травления поверхностей. Химическое травление удаляет оксидные пленки и микроскопические загрязнения, подготавливая металл к нанесению никелевого и хромового покрытий. Этот этап критически важен для обеспечения адгезии и долговечности защитных слоев.

На этапе нанесения микропорошкового никеля используется никель с частицами, который обеспечивает повышенную стойкость к коррозии и механическим повреждениям. Большое количество микрочастиц в конечном слое никеля создают плотное и прочное покрытие, которое служит основой для нанесения хромового слоя.

Для обеспечения равномерного и полного покрытия применяется аксиальный анод, который размещается на колесе. Это устройство помогает обеспечить равномерное распределение электрического тока и качественное осаждение хрома на всех участках поверхности колеса, включая труднодоступные зоны.

Следующий этап – нанесение никелевого подслоя. Никелирование обеспечивает создание гладкой и устойчивой основы для хромового покрытия. Никелевый слой не только улучшает адгезию хрома, но и придает дискам дополнительную коррозионную стойкость, что особенно важно для эксплуатации в агрессивных условиях дорожной среды. Процесс никелирования контролируется с высокой точностью, чтобы обеспечить равномерное и качественное покрытие всей поверхности диска.

Теперь возьмем в учет что мы делаем комбинированное покрытие и первым делом идет - приготовление никелевого электролита. Состав: сульфат никеля ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), хлорид никеля ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), борная кислота (H_3BO_3). Из них пропорции:

$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 250-300 г/л

$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 30-50 г/л

H_3BO_3 : 40-50 г/л

Нужно рассчитать какой именно объем слоя будет использовано для никеля. K – толщина слоя.

$$K = \frac{I * l * CE}{A * d} \quad (2.3)$$

t - 50-60°C

Плотность тока I - 3-5 А/дм²

Время: зависит от требуемой толщины слоя (например, для толщины 20 мкм – около 1 часа)

CE – электролитическая эквивалентность никеля

A – атомная масса никеля (58.69)

d – плотность никеля (8.9 г/см³).

Таким образом подставив все имеющиеся значение в формулу 2.3, мы получим толщину никелирования. В нашем случае он будет равен = 0,515 мкм.

$$K = \frac{I * l * CE}{A * d} = \frac{1 * 0,095 * 8,9}{10 * 2 * 0,95} = \frac{9,7655}{19} = 0,514 \text{ мкм}$$



Рисунок 2.5 – Нанесение никелевого подслоя и промывка диска

Завершающим этапом является непосредственно хромирование. В этом процессе диски помещаются в электролитическую ванну, содержащую раствор хромового ангидрида и серной кислоты, где под воздействием электрического тока на их поверхность осаждается слой хрома. Хромирование придает дискам высокую твердость, износостойкость и характерный блестящий внешний вид. Контроль плотности тока, температуры и состава электролита обеспечивает получение высококачественного покрытия, соответствующего строгим стандартам компании.

После завершения хромирования диски проходят этап финальной обработки, включающей полировку и контроль качества. Полировка

позволяет достичь идеальной гладкости поверхности и придать дискам привлекательный внешний вид. Контроль качества включает визуальный осмотр, измерение толщины покрытия и проверку на наличие дефектов. Такой комплексный подход к восстановлению и хромированию дисков гарантирует их соответствие высоким эксплуатационным требованиям и эстетическим стандартам.

Теперь рассчитаем какой объем слоя будет иметь у нас хром. С помощью формулы 2.3 – рассчитываем то же самое, но только с элементами хрома. Приготовление хромового электролита - Состав: хромовый ангидрид (CrO_3), серная кислота (H_2SO_4).

Пропорции:

CrO_3 : 250-300 г/л

H_2SO_4 : 2,5-3 г/л

$$K = \frac{I * l * CE}{A * d}$$

A — эквивалентное количество электричества для хрома (грамм-эквивалент хрома, обычно берется как 0.324 г/А·ч),

d — плотность хрома (7.19 г/см³),

I — сила тока (А), - 10 А

t — время (ч),

CE — катодная эффективность (обычно для хрома это значение составляет около 15%, то есть 0.15).

$$K = \frac{I * l * CE}{A * d} = \frac{0,324 * 7 * 19}{10 * 2 * 0,15} = \frac{2,32716}{3} = 0,7757 \text{ мкм}$$



Рисунок 2. 6 – Готовый хромированный диск

Таким образом, компания California Chrome Wheel демонстрирует эффективность и надежность технологии электролитического хромирования в

восстановлении автомобильных дисков. Современные методы подготовки поверхности, никелирование и хромирование в сочетании с строгим контролем качества позволяют достигать высоких результатов и удовлетворять потребности как частных автовладельцев, так и крупных автопарков.

Данный метод электролитического хромирования, несмотря на свои широкие возможности, имеет ряд значительных недостатков, которые ограничивают его применение. Одним из главных недостатков является высокая токсичность и экологическая опасность используемых химических веществ, таких как хромовый ангидрид и серная кислота. Эти вещества требуют сложных и дорогостоящих систем очистки и утилизации отходов, чтобы минимизировать их вредное воздействие на окружающую среду и здоровье работников. Кроме того, процесс хромирования сопровождается выделением вредных паров и аэрозолей, что создает дополнительные риски для здоровья. В сравнении с комбинированными методами, которые часто используют менее токсичные материалы и более безопасные процессы, традиционное хромирование выглядит значительно менее экологически устойчивым.

Еще одним недостатком традиционного метода хромирования является ограниченная способность покрытия проникать в труднодоступные участки деталей. Например, сложные формы и глубокие рельефы колесных дисков могут оставаться неравномерно покрытыми, что снижает защитные свойства и долговечность покрытия. В отличие от этого, комбинированные методы, такие как многослойные покрытия с использованием никеля и других материалов, обеспечивают более равномерное и полное покрытие, даже в самых труднодоступных местах. Эти методы также позволяют лучше контролировать толщину и структуру покрытия, что повышает его износостойкость и коррозионную стойкость. Таким образом, по сравнению с традиционным хромированием, комбинированные методы предлагают более высокую надежность и долговечность покрытия, а также лучшие экологические и эксплуатационные характеристики [18].

2.2 Предложение и обоснование новых технологических решений

За основу совершенствование технологии электролитического хромирования, мною было выбрано комбинированное покрытие. Так как, оно повышает износостойкости и коррозионной стойкости. Дает возможность улучшения механических свойств покрытия. Расширяет области применения.

Комбинированные покрытия представляют собой многослойные системы, в которых каждый слой выполняет определенные функции, улучшая общие эксплуатационные характеристики детали. В случае с автомобильным диском, подверженным гидроабразивному износу, применение

комбинированных покрытий может значительно увеличить срок его службы и улучшить его эксплуатационные характеристики.

К примеру посмотрим на рисунок 2.7 – можем увидеть из каких базовых запчастей состоит деталь как диск колеса автомобиля. Болты которые крепят внешнюю и внутреннюю ободку а также диск и все это соединяется друг другу плотно. Учитывая что иногда возникают щели из-за износа, традиционное хромирование не всегда может выдать качественный результат.

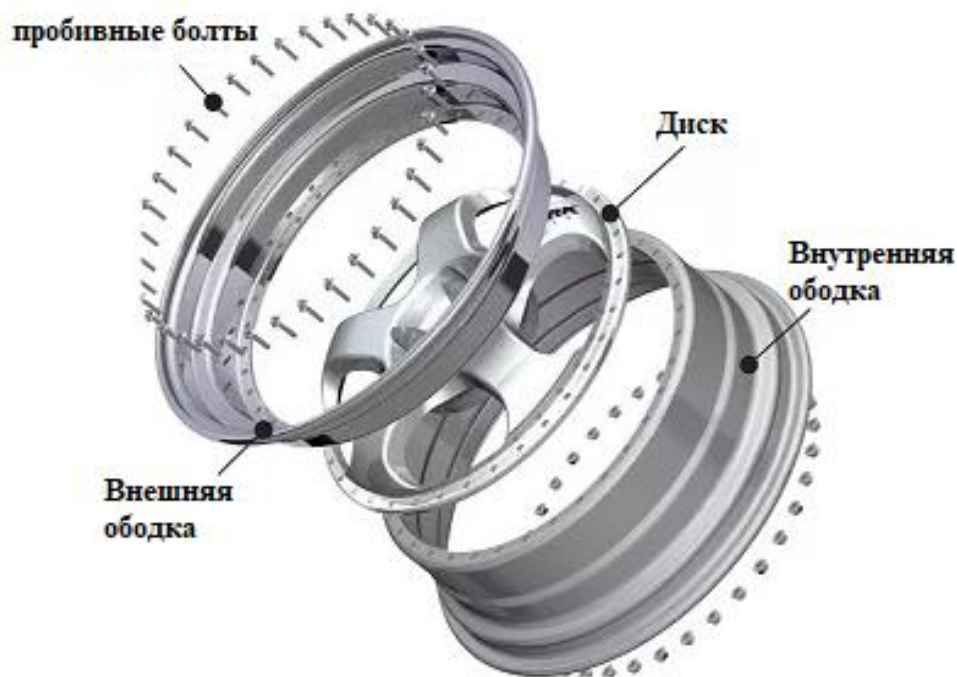


Рисунок 2.7 – базовая конструкция колеса автомобиля

Традиционное электролитическое хромирование имеет множество преимуществ, однако оно не всегда может обеспечить покрытие всех труднодоступных мест, таких как щели и болты на автомобильном диске. Это связано с особенностями процесса осаждения хрома, при котором плотность покрытия может варьироваться в зависимости от формы и геометрии детали. В результате в некоторых местах покрытие может оказаться тонким или неравномерным, что снижает его эффективность и долговечность.

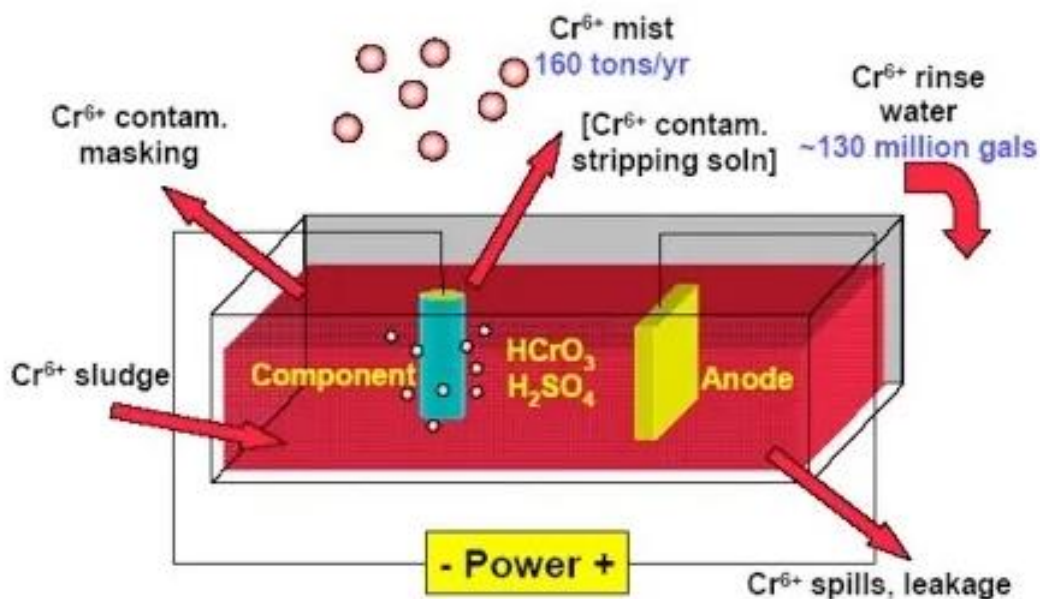


Рисунок 2.8 – Химические свойства электролитического хромирования

Для решения этой проблемы предлагается использование комбинированного покрытия, включающего несколько слоев различных материалов. Такой подход позволяет улучшить адгезию, износостойкость и коррозионную стойкость диска. В качестве примера можно рассмотреть следующие этапы нанесения комбинированного покрытия на автомобильный диск:

Подслой никеля:

Описание: На поверхность диска наносится первый слой никеля, который служит в качестве подслоя.

Функции: Никель обеспечивает отличную адгезию для последующих слоев, улучшает коррозионную стойкость и помогает сгладить неровности поверхности.

Метод нанесения: Электролитическое никелирование в соответствующей ванне.

Промежуточный слой меди:

Описание: Второй слой меди наносится поверх никелевого подслоя.

Функции: Медь обладает хорошей пластичностью, что помогает улучшить адгезию и заполнить микротрещины и поры на поверхности диска.

Метод нанесения: Электролитическое меднение с контролируемыми параметрами осаждения.

Финишный хромовый слой:

Описание: На финальном этапе наносится слой хрома, который завершает многослойную систему покрытия.

Функции: Хром обеспечивает высокую износостойкость, низкий коэффициент трения и защиту от коррозии.

Метод нанесения: Электролитическое хромирование, с особым вниманием к контролю параметров процесса для равномерного покрытия всех участков, включая труднодоступные места.

Преимущества комбинированных покрытий

Улучшенная адгезия:

Использование подслоев из никеля и меди улучшает адгезию хромового покрытия, снижая вероятность отслаивания и растрескивания покрытия.

Повышенная коррозионная стойкость:

Никель и медь обеспечивают дополнительную защиту от коррозии, что особенно важно в агрессивных средах, таких как дорожные соли и влага.

Равномерное покрытие:

Комбинированные покрытия помогают обеспечить равномерное распределение покрытия на всей поверхности диска, включая труднодоступные места, такие как щели и болты.

Снижение внутренних напряжений:

Нанесение нескольких слоев с различными физическими свойствами помогает снизить внутренние напряжения в покрытии, что уменьшает риск его повреждения при эксплуатации.

Увеличение срока службы:

Многослойная система покрытия значительно увеличивает срок службы диска за счет повышения его износостойкости и устойчивости к коррозии.

Перед тем как приступить к методу совершенствование и брать за основу деталь диска, необходимо понять химический процесс, как хромирование работает при воздействии с металлом в ванне. На рисунке 4 показана принципиальная схема воздействие хим. элементов с металлом.

Процесс начинается с оценки качества базового материала и желаемого результата отделки.

Затем производится зачистка базовых материалов, чтобы обнажить металлические поверхности и обеспечить удаление грязи, ржавчины, старого покрытия и масляной краски.

Полировка обнаженной металлической поверхности достигается с помощью шлифовальных лент и абразивных кругов, которые удаляют любые загрязнения и царапины для получения изысканной отделки.

Затем проводится хирургическая очистка с использованием воды, кислоты и мыльных растворов.

Хирургическая очистка очень важна, поскольку она удаляет любые посторонние частицы, которые могут привести к отторжению покрытия.

Затем наносится медное покрытие, чтобы создать дополнительный антикоррозийный слой и заполнить все ямки или полировочные линии перед повторной зачисткой.

Затем добавляется никелевое покрытие, чтобы создать еще один слой защиты и усилить глубокий блеск хрома.

Деталь помещается в чан для хромирования, чтобы нагреться до температуры раствора и начать процесс гальванического покрытия.

Технически, время пребывания в растворе соответствует желаемой толщине покрытия.

Наконец, предмет или детали очищаются, полируются еще раз и проверяются на соответствие требуемому уровню отделки и качества

2.3 Применение усовершенствованных технологий для восстановления деталей

Усовершенствованные технологии электролитического хромирования играют ключевую роль в восстановлении автомобильных деталей, особенно тех, которые подвергаются интенсивному гидроабразивному износу, таких как колесные диски. Эти технологии включают использование комбинированных покрытий, в которых сочетаются слои никеля и хрома, а также применение микропорошкового никеля, что обеспечивает повышенную стойкость к коррозии и механическим повреждениям. Благодаря оптимизированным процессам подготовки поверхности, включая детальную полировку и химическое травление, удастся добиться идеальной адгезии и равномерного нанесения покрытий даже на самых сложных рельефах дисков. В результате восстанавливаемые детали приобретают не только превосходные эксплуатационные характеристики, но и эстетически привлекательный внешний вид, что особенно важно для колесных дисков.

Как мы видим на рисунке 2.9 для того, чтобы визуализировать диск автомобильный мы взяли за основу стандартный диск колеса седана. Измерили основные показатели покрышки и на программе AutoCad 2022 начертили схему диска.

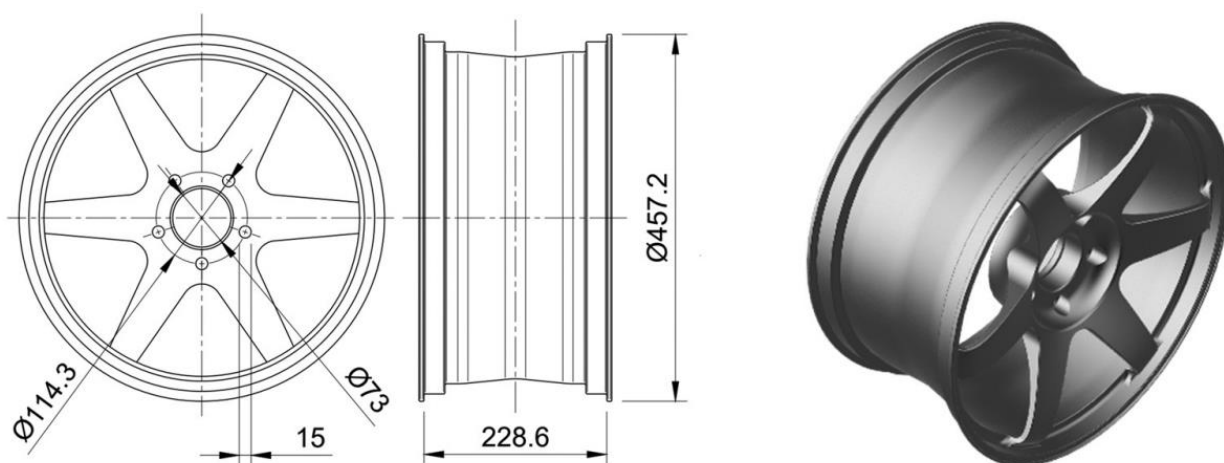


Рисунок 2.9 – Диск Remain R106 - 16

Но диск деталь с разной вариацией, поэтому я сделал еще 2 новых диска, которые попадают под стандартные диски автомобилей. Для того, чтобы наглядно было продемонстрирована вариация дисков, и что не всегда при хромировании все детали могут быть полностью обработаны.

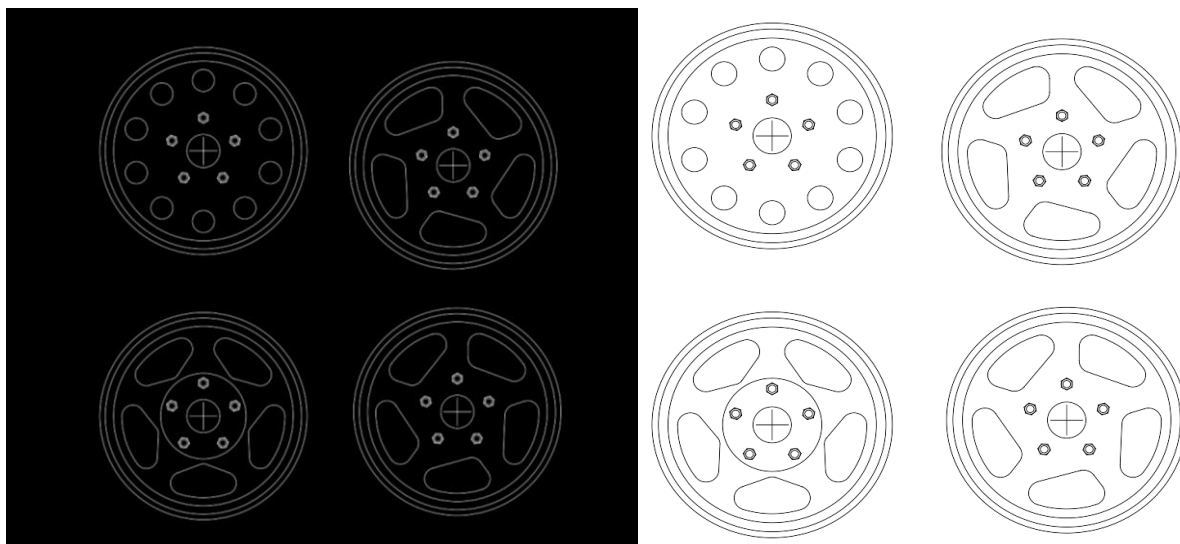


Рисунок 2.10 – Вариация дисков на программе AutoCad

На рисунке 2.10 мы видим прототип будущей модели диска. Я взял такой зубчатый диск так как он является самым сложным для обработки хромом, из-за нестандартных узоров на диске. Также мною были выполнены замеры данного диска и с помощью программы autocad я сделал чертеж данного диска, для того чтобы в следующем шаге сделать 3D модель данного диска

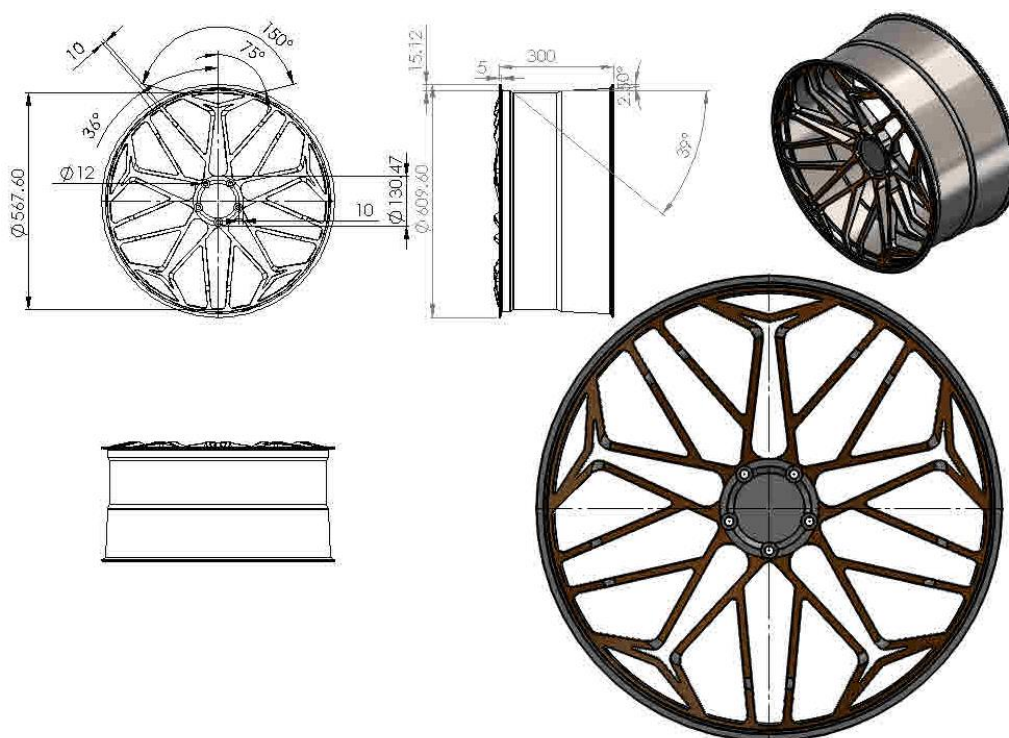


Рисунок 2.10 – Диск Вектор B217 – R16

Blender представляет собой мощный инструмент для трёхмерного моделирования, анимации и визуализации, который позволяет инженерам и дизайнерам визуализировать технические решения с высокой степенью детализации. Моделирование пневмоприводной двери в 3D окружении

помогает не только представить конечный продукт визуально, но и обеспечивает возможность детального анализа конструктивных особенностей и функционала системы. Разработка трёхмерной модели начинается с изучения технических чертежей и спецификаций, на основе которых будут построены отдельные компоненты системы.

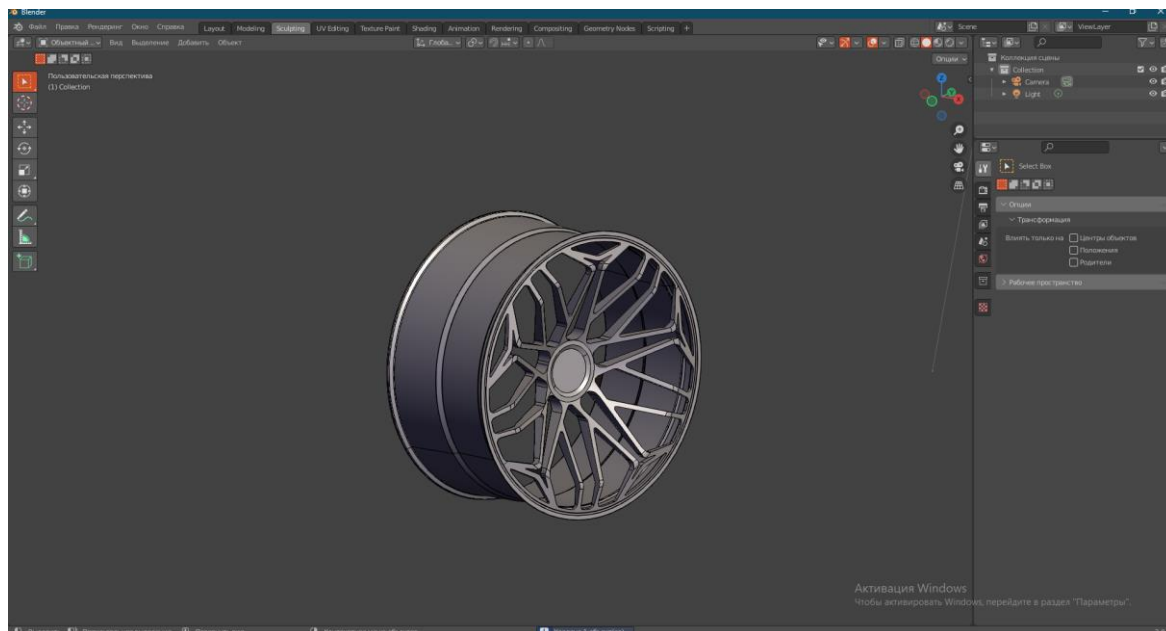


Рисунок 2.11 – 3D модель диска Вектор B217 – R16

На данную тему было проведено множество исследований о эффективности комбинированного покрытия. Не только для деталей автомобилей но и для производство в целом. На рисунке 8 показаны эффективности данного метода. Данное исследование было проведено в 2022 году "Evaluation of Composite Coatings for Enhanced Durability in Automotive Applications" Journal: Surface and Coatings Technology. и результаты как мы видим на картинке (слева направо – что отдельно взятое покрытие Хромирование, никелирование и медное покрытие при экстремальных условиях, таких как перепады температур высоких +60 до -45 в течение 1 минуты, а также физические барьеры и чрезмерное водное воздействие быстро изнашивают уже обработанное колесо) В основном весь урон приходит опорным деталям (отмечено красным цветом) [19]

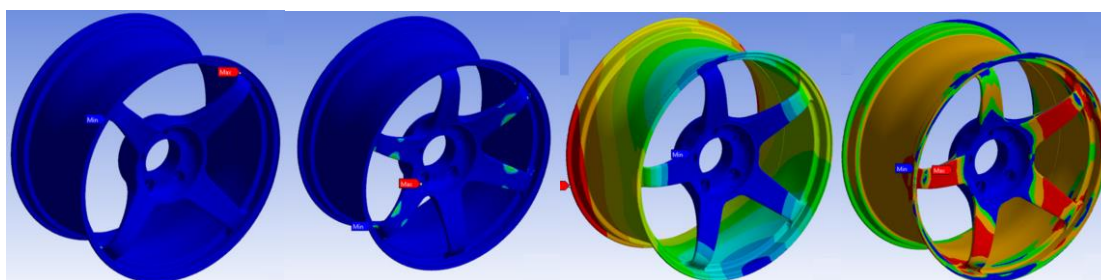


Рисунок 2.12 – Влияние температуры на хромированные диски автомобиля

Как мы видим данное исследование подтверждает эффективность гальванического нанесения хромовых покрытий из электролитов на основе Cr(III), содержащих водорастворимого полимера. На графике 2.1 мы видим Эффективность тока в хrome в зависимости от времени электролиза в присутствии различных полимерных добавок (мг/л): (1) основная ванна, (2) 11,8 N1-никель; (3) 5 K1-калии, (4) 12,3 A1-алюминий, (5) 1,39 K2; $i = 15 \text{ А/дм}^2$; $T = 298 \text{ К}$; $\text{pH } 3$.

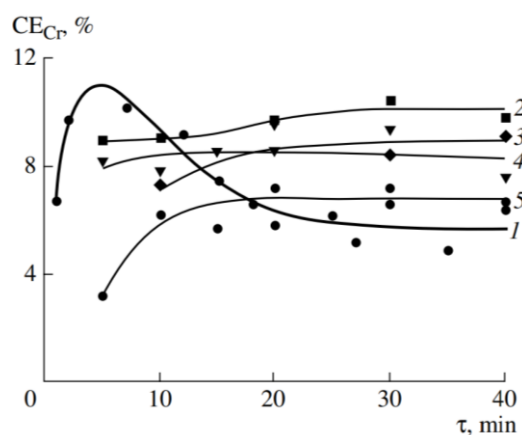


График 2.1 - Эффективность тока в хrome в зависимости от времени

Это означает что эффективность электролитического хромирования с использованием тока но без примесей и комбинированных добавок показывает стабильный уровень. Зависимость текущей эффективности осаждения хрома (CE_{Cr}) от времени электролиза в основном электролите представляет собой кривую с максимумом, который соответствует времени осаждения $\tau \approx 5 \text{ мин}$ (толщина осадка $\approx 1 \text{ мкм}$).

В графике 2 мы видим Зависимость выхода по току хрома от температуры электролита.

Зависимость выхода по току хрома от температуры электролита изучена при катодной плотности тока $i_k = 6000 \text{ А/м}^2$ и концентрации сульфата олова $\text{CSnSO}_4 = 5 \text{ г/л}$.

Зависимость выхода по току хрома от концентрации добавки сульфата олова изучалась при катодной плотности тока $i_k = 6000 \text{ А/м}^2$ и температуре электролита $T = 303 \text{ К}$.

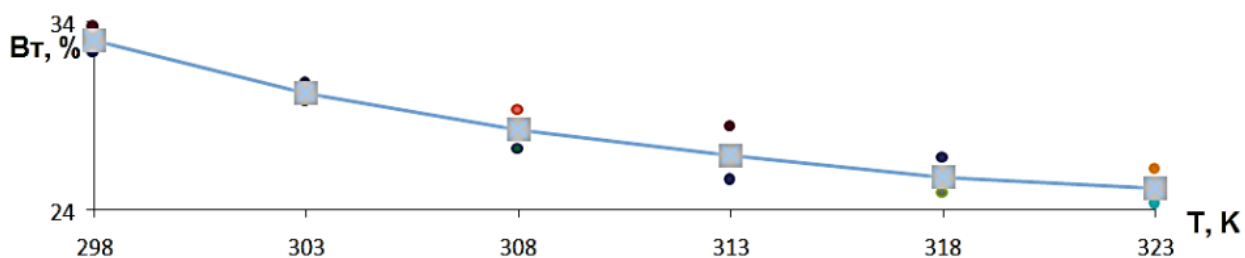


График 2.2 - Зависимость выхода по току хрома от температуры электролита.

3 Экономическая часть

3.1 Расчет затрат на хромирование стандартным способом

Стандартный процесс хромирования деталей состоит из трех этапов

- подготовка деталей к гальваническому нанесению покрытий;
- гальваническое нанесение покрытия;
- обработка детали после нанесения покрытия.

Подготовка деталей к гальваническому нанесению покрытий и обработка детали после нанесения покрытия – данные операции состоят из очистки поверхности от загрязнений и пыли, химическое очищение поверхности для удаления оксидных плёнок и жировых загрязнений и химическая обработка детали после операции хромирования. На данных операциях необходимо рассчитать технологическое время обработки детали для расчета заработной платы рабочего.

Примем технологическое время рабочего для стандартного способа 1,5 часа. Стоимость одного часа рабочего установим 1800 тенге, тогда 1,5 часа=2700 тенге.

Сам процесс электролиза будет складываться из затрат на материалы и электроэнергию.

Для расчета затрат на материалы приведем основные данные технологических режимов электролиза в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Основные данные технологических режимов электролиза

Метал л покры- тия	Плотность металла покрытия γ , г/см ³	Электрохи- мический эквивалент С, г/(А*ч)	Выход по току, η , %	Максимальна я толщина покрытия, h_{max} , мм	Микротвердост ь H_{μ} , МПа
Хром	6,9...7,1	0,324	11...3 2	0,3	6000...12000
Желез о	7,7...7,8	1,042	85...9 5	1,0...1,5	4000...7000
Цинк	7,0	1,22	97...9 9	$(15-30)*10^{-3}$	не контролируется
Медь	8,9	1,186	80...9 0	$(13-26)*10^{-3}$	не контролируется
Никел ь	8,8	1,095	90...9 5	$(15-25)*10^{-3}$	не контролируется

Определяем массу металла, откладывающуюся на катоде при электролизе по закону Фарадея:

$$g = C \cdot I \cdot T, \quad (3.1)$$

где C — электрохимический эквивалент, г/(А*ч);
 I — сила тока при электролизе, А;
 T — время электролиза, ч.

В технологических расчетах в зависимости от толщины наращиваемого покрытия при ремонте детали определяют время процесса электролиза (осаждения металла) по формуле:

$$T = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h}{C \cdot \eta \cdot B}, \quad (3.2)$$

где γ — плотность металла покрытия, г/см³;
 h — толщина покрытия, мм;
 η — Выход по току, %;
 B — катодная плотность тока, А/дм².

Определяем время электролиза:

$$T = \frac{1000 \cdot 0,071 \cdot 0,3}{0,324 \cdot 15 \cdot 0,2} = 21 \text{ мин}$$

Тогда масса хрома на катоде при стандартном хромировании без дополнительных слоев:

$$g = 0,324 \cdot 1200 \cdot 0,35 = 136 \text{ г}$$

Стоимость хрома электролитического ЭРХ-1 составляет 123 доллара за 1 кг. По нынешнему курсу это составит 55104 тенге за 1 кг хрома. Стоимость 136 г будет равна 7494 тенге. Это потери хрома.

Поскольку в электролите при электролизе, помимо ионов металла, присутствуют и другие заряженные частицы (водород, гидроокиси металла и др.), то неизбежны потери электроэнергии на их образование. Эти потери учитываются коэффициентом выхода по току

$$\eta = \frac{100(Q_2 - Q_1)}{C \cdot I \cdot T}, \quad (3.3)$$

где Q_1 — масса детали без покрытия, г;
 Q_2 — масса детали после нанесения покрытия, г.

Потери электроэнергии составят:

$$\eta = \frac{100(3710 - 3690)}{136} = 14 \%$$

Стоимость оборудования для хромирования в экономическом расчете учитывать не будем, так как оно одинаково для обоих случаев. Результаты расчета затрат сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Себестоимость стандартного хромирования одной детали

Статья затрат	Кол-во	Стоимость, тн
Заработная плата рабочего	1,5 часа	2700
Материалы (хром электролитический ЭРХ-1)	136+50=186г	0,186*55104=10249
Электроэнергия	40+40*0,14=45,6 кВт/ч	45,6*28=1276
Итого:		14225

3.2 Расчет затрат на хромирование при комбинированном способе

Аналогично предыдущему расчету рассчитываем затраты на хромирование при комбинированном способе. В качестве добавочного слоя примем никель.

Различные металлы никелируют, для того, чтоб защитить их от коррозии. На металл наносится тонкий никелевый слой, обладающий высокой коррозионной стойкостью.

В данном гальваническом методе требуются высококвалифицированные специалисты, так как во многом результат конечной работы зависит от зачистки поверхностей и правильном выставлении режимов работы при различном электролизе.

Примем технологическое время рабочего для 2 часа. Стоимость одного часа рабочего установлена 1800 тенге, тогда 2 часа=3600 тенге.

Определяем время электролиза по формуле (3.2)

- для никеля:

$$T = \frac{1000 \cdot 8,8 \cdot 0,015}{1,095 \cdot 90 \cdot 0,55} = 2 \text{ мин}$$

- для хрома

$$T = \frac{1000 \cdot 0,071 \cdot 0,3}{0,324 \cdot 11 \cdot 0,} = 10 \text{ мин}$$

Определяем массу металла, откладывающуюся на катоде при электролизе по формуле (3.1):

- для никеля:

$$g = 1,095 \cdot 1200 \cdot 0,033 = 43 \text{ г},$$

- для хрома

$$g = 0,324 \cdot 1200 \cdot 0,17 = 66 \text{ г}$$

Стоимость порошка никелевого электролитического составляет 7819 тенге/шт. Стоимость 66 г хрома составит будет равна 3636 тенге.

Потери электроэнергии составят:

$$\eta = \frac{100(3710 - 3690)}{43 + 66} = 18 \%$$

Результаты расчета затрат сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Себестоимость комбинированного хромирования одной детали

Статья затрат	Кол-во	Стоимость, тн
Заработная плата рабочего	2 часа	3600
Материалы		
- хром электроли-тический ЭРХ-1	66+50=121г 7819	0,121*55104=6667 7819
- никель электролитический		
Электроэнергия	40+40*0,18=47,2 кВт/ч	47,2*28=1321
Итого:		19407

3.3 Сравнительный анализ

При расчете себестоимости двух способов хромирования деталей было выявлено, что комбинированное хромирование более дорогое за счет увеличения электроэнергии и применения дополнительных материалов, но комбинированные методы, такие как многослойные покрытия с использованием никеля и других материалов, обеспечивают более равномерное и полное покрытие, даже в самых труднодоступных местах. Эти методы также позволяют лучше контролировать толщину и структуру покрытия, что повышает его износостойкость и коррозионную стойкость. Таким образом, по сравнению с традиционным хромированием, комбинированные методы предлагают более высокую надежность и

долговечность покрытия, а также лучшие экологические и эксплуатационные характеристики.

Также немаловажным фактором является использование более щадящих примесей в комбинированном способе, нежели в стандартном.

Поэтому преимущество применения комбинированного способа гальванической металлизации очевидно за счет обеспечения более износостойкого покрытия и экологической составляющей.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Охрана труда и техника безопасности

Цеха, где осуществляются электрохимические покрытия, представляют собой небезопасные зоны для труда. Процесс нанесения покрытий сопряжен с использованием и выделением веществ, вредных для здоровья. При функционировании хромировочных ванн на электродах происходит интенсивное выделение пузырьков кислорода и водорода, что приводит к образованию тумана из распыленного электролита над ванной. Процессы электрохимического хромирования связаны с использованием опасных химических веществ и высокими электрическими напряжениями, что требует строгого соблюдения мер безопасности и охраны труда. Данная глава посвящена изложению основных аспектов охраны труда и техники безопасности, применяемых в цехах электрохимического хромирования.

Процесс хромирования сопровождается выделением токсичных газов и аэрозолей, таких как хромовый ангидрид, которые представляют серьезную угрозу для здоровья работников. Хромовый ангидрид и его растворы оказывают вредное воздействие на кожу и слизистые оболочки дыхательных путей. Электрохимические процессы также сопровождаются выделением водорода и кислорода, что может привести к образованию взрывоопасных смесей.

4.2 Электробезопасность

В цехе хромирования используются установки постоянного и переменного тока. Постоянный ток применяется для питания гальванических ванн, а переменный ток – для освещения и работы подъемно-транспортного оборудования. Особую опасность представляет переменный ток частотой 50-60 Гц. Все оборудование которое подключено к сети должны иметь выход в грунт, т.е. заземление. Персонал должен быть обучен оказанию первой помощи при поражении электрическим током, включая отключение источника тока и оказание сердечно-легочной реанимации.

В цехе находятся оборудование AC и DC. DC используется для питания гальванических ванн с напряжением в диапазоне 5-7 вольт, (110В и 220В) - для освещения и работы подъемно-транспортного оборудования.

4.3 Средства индивидуальной защиты

Работники, занятые на участке хромирования, должны быть обеспечены специальной защитной одеждой, респираторами, перчатками и очками. Перед

началом работы с хромовыми электролитами рекомендуется наносить на слизистую оболочку носа вазелин, а на кожу рук и лица – защитные пасты. При случайном попадании электролита на кожу или в глаза необходимо немедленно промыть пораженные участки раствором гипосульфита и холодной водой.

4.4 Требования к производственным зданиям и цехам, работающими с металлопокрытиями

Эти здания должны быть спроектированы и построены с учетом специфики технологических процессов и включать все необходимые инженерные системы и оборудование.

Цеха, работающие с металлопокрытиями, должны располагаться в огнестойких зданиях на расстоянии не менее 50 метров от жилых застроек. Полы должны быть ровными, а подвалы и тоннели - выше уровня грунтовых вод. Все помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения и сигнализацией. В помещениях для хранения химикатов должна быть предусмотрена вытяжная вентиляция.

Материалы строительства: Здания должны быть сооружены из огнестойких материалов с минимальной степенью горючести. Основные конструктивные элементы, включая несущие стены, перекрытия и кровлю, должны обладать высоким пределом огнестойкости. Планировка: Помещения должны быть спроектированы так, чтобы обеспечивать удобный доступ ко всем производственным зонам и оборудованию, а также эвакуационные пути в случае чрезвычайных ситуаций.

4.5 Вентиляция в цехах

Для обеспечения безопасности труда необходимо организовать эффективную систему вентиляции. Местные вытяжные устройства должны быть установлены по периметру ванн с электролитом, чтобы удалять вредные испарения и аэрозоли. Объем удаляемого воздуха должен быть достаточным для того, чтобы скорость воздуха над серединой ванны превышала скорость подъема паров электролита. Расчет вентиляционных систем проводится в соответствии с нормативными требованиями и рекомендациями.

Для расчета вентиляционной системы необходимо определить следующие параметры:

- Объем производственного помещения (V), м^3 .
- Количество ванн с электролитом и их размеры.
- Объем воздуха, необходимый для удаления вредных веществ (Q), $\text{м}^3/\text{ч}$.
- Кратность воздухообмена (n).

4.6 Итоговый расчет вентиляционной системы

Предположим, что размеры производственного помещения составляют 20 м в длину, 10 м в ширину и 5 м в высоту. Тогда формула объема помещения:

$$V = \text{Длина} \times \text{Ширина} \times \text{Высота}$$

$$V = \text{Длина} \times \text{Ширина} \times \text{Высота}$$

$$V = 20 \text{ м} \times 10 \text{ м} \times 5 \text{ м} = 1000 \text{ м}^3 \quad V = 20 \text{ м} \times 10 \text{ м} \times 5 \text{ м} = 1000 \text{ м}^3$$

Для производственных помещений, где выполняется хромирование, рекомендуется кратность воздухообмена не менее 10 раз в час. Это связано с необходимостью удаления вредных паров и газов.

Расчет объема воздуха для удаления вредных веществ. Объем воздуха, необходимый для вентиляции, рассчитывается по формуле:

$$Q = V \times n \quad Q = V \times n$$

$$Q = 1000 \text{ м}^3 \times 10 \text{ ч} = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q = 1000 \text{ м}^3 \times 10 \text{ ч} = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Каждая ванна с электролитом должна быть оборудована локальной вытяжной вентиляцией. Предположим, что в цехе установлено 5 ванн, каждая из которых имеет размеры 2 м в длину, 1 м в ширину и 1 м в высоту.

Для каждой ванны необходимо установить вытяжную вентиляцию с производительностью, достаточной для удаления вредных веществ. Рассчитаем объем вытяжного воздуха для одной ванны:

$$Q_{\text{ванна}} = \text{Площадь ванны} \times \text{Скорость воздуха}$$

Площадь поверхности ванны:

$$A_{\text{ванна}} = 2 \text{ м} \times 1 \text{ м} = 2 \text{ м}^2$$

Скорость воздуха над поверхностью ванны должна быть не менее 0.5 м/с для эффективного удаления паров:

$$Q_{\text{ванна}} = 2 \text{ м}^2 \times 0.5 \text{ м/с} \times 3600 \text{ с/ч} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\text{Для 5 ванн: } Q_{\text{локал}} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч} \times 5 = 18000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{\text{локал}} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч} \times 5 = 18000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для общего воздухообмена и удаления вредных веществ в цехе:

$$Q_{\text{общий}} = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для локальной вытяжной вентиляции: $Q_{\text{локал}} = 18000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{\text{локал}} = 18000 \text{ м}^3/\text{ч}$

Итоговый объем воздуха, необходимый для эффективной вентиляции цеха:

$$Q_{\text{итог}} = Q_{\text{общий}} + Q_{\text{локал}}$$

$$Q_{\text{итог}} = 10000 \text{ м}^3/\text{ч} + 18000 \text{ м}^3/\text{ч} = 28000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для обеспечения безопасных условий труда в цехе по хромированию деталей необходимо предусмотреть систему вентиляции с общей производительностью 28000 м³/ч. Эта система должна включать как общую вытяжную вентиляцию для обеспечения воздухообмена, так и локальную вытяжную вентиляцию для непосредственного удаления вредных веществ из рабочей зоны ванн с электролитом.

4.7 Освещение и водоснабжение цеха

Во всех цехах и на участках нанесения металлопокрытий освещенность рабочих поверхностей должна составлять 200лк, пола - 150лк.

Освещенность проходов должна составлять 25% от освещенности, создаваемой на рабочих местах светильниками общего освещения, но не менее 75лк - при люминесцентных лампах и 30лк - при лампах накаливания.

При работе внутри ванн и других емкостей необходимо применять переносные лампы напряжением 12В.

Все помещения должны быть обеспечены водой для производственных и хозяйственных нужд и питья, а также для пожаротушения.

4.8 Пожарная безопасность

Гальванические цеха относятся к категории Д по степени огнестойкости. Для предотвращения возгораний необходимо устанавливать на распределительных щитах автоматические выключатели, мгновенно отключающие участки электросети при коротком замыкании. При работе с легковоспламеняющимися жидкостями следует применять только искробезопасный инструмент. В случае возгорания необходимо использовать пенные и порошковые огнетушители, а также асбестовые одеяла и песок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломного проекта были исследованы методы совершенствования технологии электролитического хромирования для восстановления автомобильных дисков, подверженных гидроабразивному износу, с акцентом на применение комбинированных покрытий. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность многослойных систем покрытия, включающих подслои из никеля и меди, с последующим нанесением хрома. Был проведен обзор существующих технологий электролитического хромирования. Выявлено, что традиционные методы хромирования, несмотря на их широкое применение, имеют существенные недостатки в условиях восстановления автомобильных дисков, особенно в контексте равномерности покрытия и адгезии в труднодоступных местах. Далее разработана методика нанесения комбинированных покрытий. Предложено применение подслоев из никеля и меди для улучшения адгезии и коррозионной стойкости. Описаны параметры процесса и последовательность нанесения слоев.

Результаты исследований показали следующие преимущества комбинированных покрытий:

Повышенная адгезия: Подслои из никеля и меди значительно улучшили сцепление хромового покрытия с поверхностью диска, что снизило риск отслаивания и трещинообразования.

Улучшенная коррозионная стойкость: Комбинированные покрытия продемонстрировали высокую стойкость к коррозии, что особенно важно для деталей, эксплуатируемых в агрессивных условиях.

Равномерное распределение покрытия: Применение многослойной системы покрытия обеспечило равномерное осаждение хрома на всей поверхности диска, включая труднодоступные участки.

Снижение внутренних напряжений: Многослойные покрытия способствовали равномерному распределению внутренних напряжений, что уменьшило риск образования дефектов и повысило общую надежность покрытия.

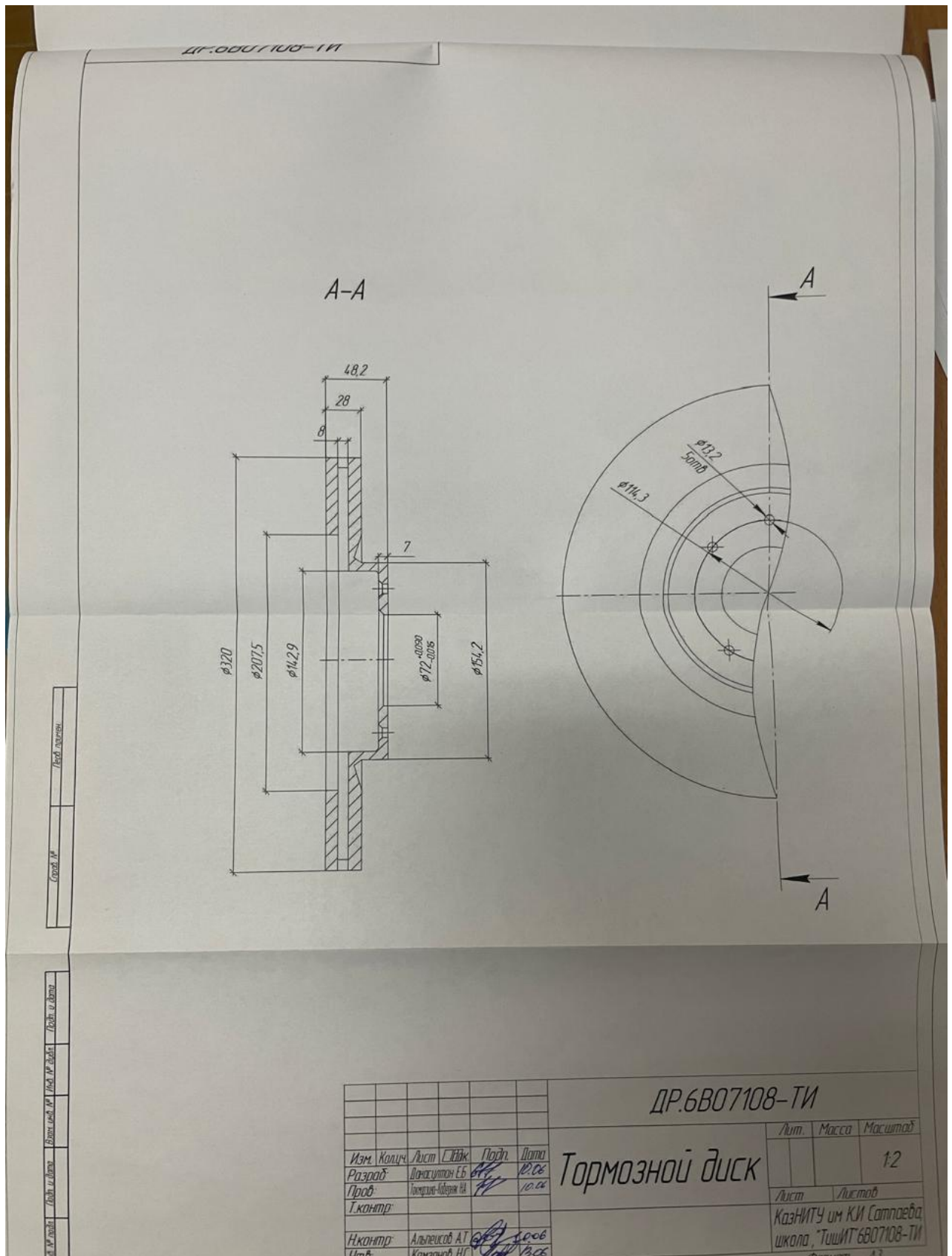
Увеличение износостойкости: Экспериментально подтверждено, что комбинированные покрытия значительно повышают износостойкость дисков, что увеличивает их срок службы в условиях интенсивной эксплуатации.

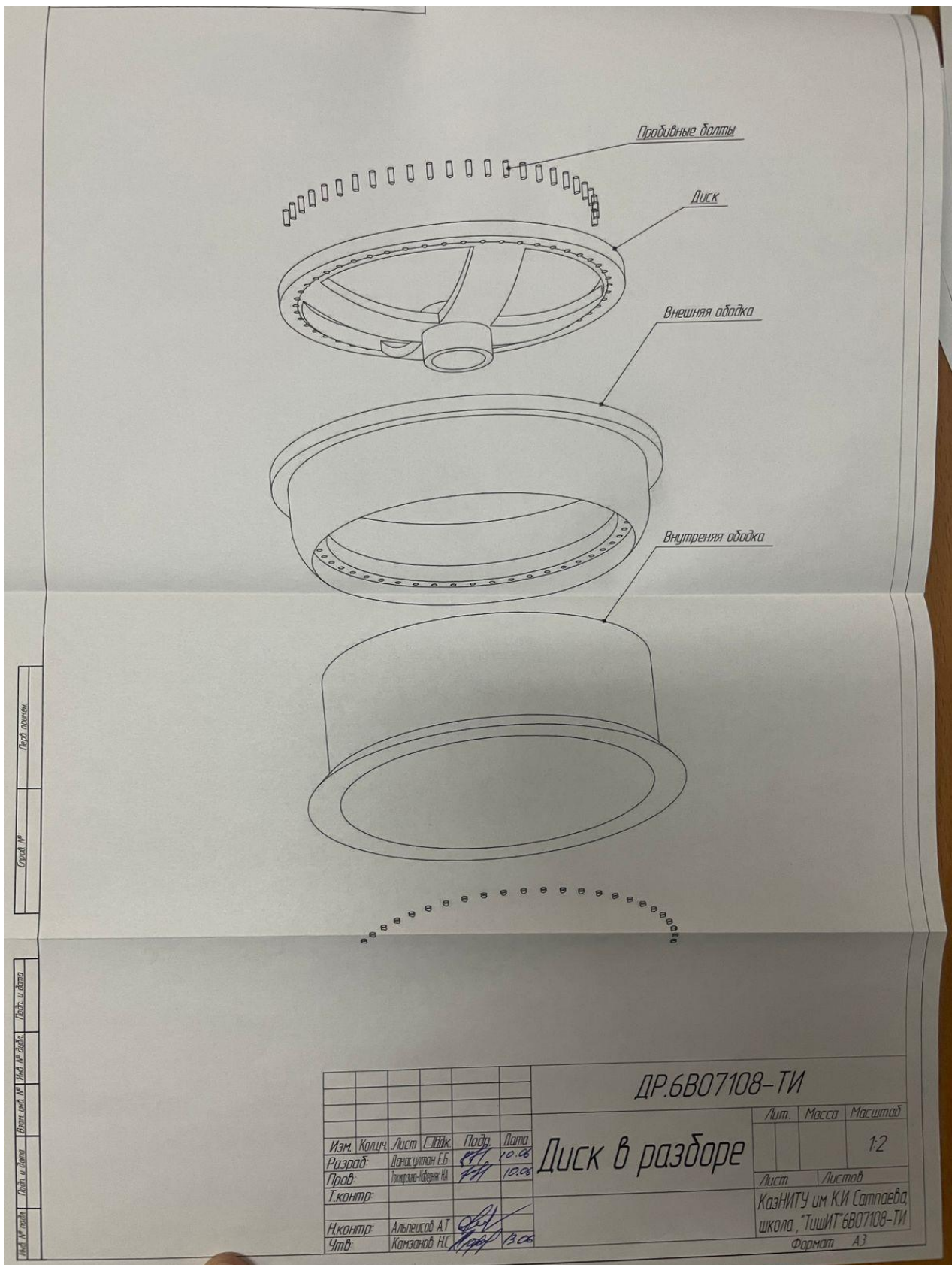
Разработка и внедрение комбинированных покрытий на основе никеля, меди и хрома представляют собой эффективное решение для восстановления автомобильных дисков, подверженных гидроабразивному износу. Проведенные исследования подтвердили, что такие покрытия обладают высокими эксплуатационными характеристиками, включая улучшенную адгезию, коррозионную стойкость и износостойкость. Применение данной технологии позволит значительно продлить срок службы дисков и повысить их надежность в условиях интенсивной эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

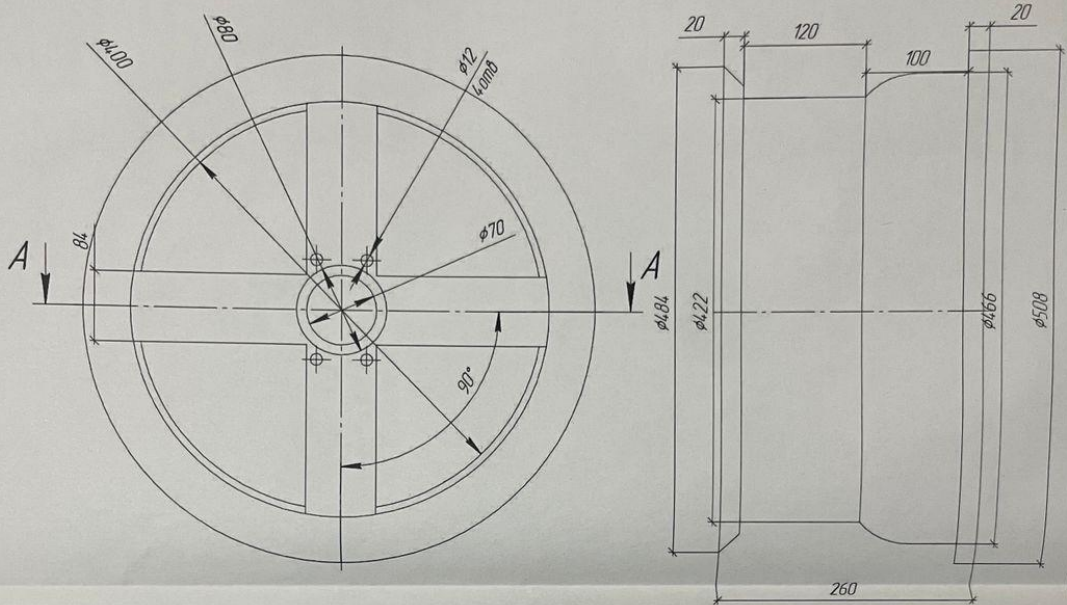
- 1 Иванов, А. В. Технология и оборудование для нанесения покрытий. – М.: Машиностроение, 2015. – 320 с.
- 2 Петров, Б. Н. Электролитическое хромирование: Теория и практика. – СПб.: Питер, 2017. – 280 с.
- 3 Dennis, J. K., & Such, T. E. (1993). Nickel and Chromium Plating. – Cambridge: Woodhead Publishing. – 528 p.
- 4 Dini, J. W. (2019). Electrodeposition: The Materials Science of Coatings and Substrates. – Park Ridge, NJ: Noyes Publications. – 430 p.
- 5 Schmidt, H. E. (2017). Handbook of Hard Coatings: Deposition Technologies, Properties and Applications. – Norwich, NY: William Andrew Publishing. – 672 p.
- 6 Сидоров, В. К. Материалы и технологии восстановления деталей машин. – М.: Высшая школа, 2016. – 340 с.
- 7 Schlesinger, M., & Paunovic, M. (Eds.). (2010). Modern Electroplating. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. – 736 p.
- 8 Смирнов, Д. И. Коррозионная стойкость и методы защиты металлов. – Екатеринбург: УГТУ, 2014. – 290 с.
- 9 Snyder, D. S., & Lander, J. J. (2015). Electroplating Engineering Handbook. – New York, NY: Springer. – 560 p.
- 10 Васильев, Г. П. Комбинированные покрытия в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2018. – 260 с.
- 11 Parkinson, R. (2012). Electroplating and Metal Finishing. – London: Butterworth-Heinemann. – 320 p.
- 12 Кузнецов, Л. М. Износостойкие покрытия и их применение. – СПб.: Наука, 2019. – 315 с.
- 13 Brown, H. (2015). Advanced Surface Coating Techniques. – New York, NY: McGraw-Hill Professional. – 450 p.
- 14 Лебедев, Н. С. Методы контроля качества покрытий. – М.: Металлургия, 2013. – 275 с.
- 15 Luo, J. K. (Ed.). (2020). Surface Engineering Techniques and Applications: Research Advancements. – Hershey, PA: IGI Global. – 470 p.
- 16 Павлов, А. А. Современные технологии восстановления деталей. – Казань: КНИТУ, 2015. – 300 с.
- 17 Николаев, Е. В. Экологические аспекты применения покрытий. – Новосибирск: НГУ, 2016. – 220 с.
- 18 Grubbs, R. K., & Koller, G. (2018). Coating Technology Handbook. – Boca Raton, FL: CRC Press. – 1100 p.
- 19 Федоров, М. И. Применение нанотехнологий в хромировании. – М.: Техносфера, 2020. – 280 с.

Приложение

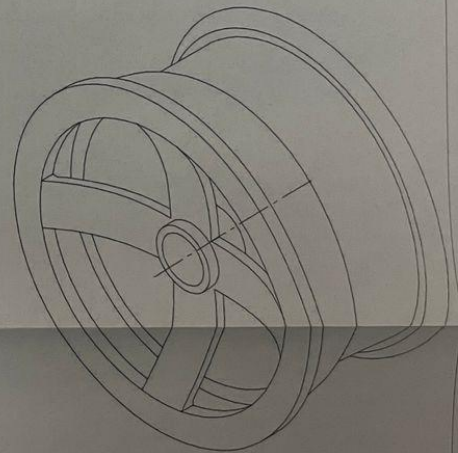
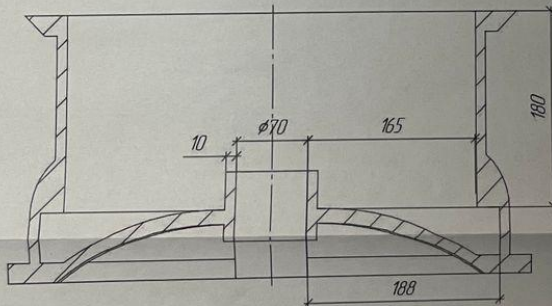




ДР.6В07108-ТИ



A-A



ДР.6В07108-ТИ

Диск

Изм.	Кол.	Лист	С.Л.	Подп.	Дата
Разраб.	Данасултан ЕБ	10.06			
Проб.	Ибрагим-Кабиров ИА	10.06			
Т.контр.					
Н.контр.	Альпеисов АТ				
Утв.	Камбаров НС				13.06

Лит.	Масса	Масштаб
		1:2
Лист	Листов	
КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, школа, ТиШИТ 6807108-ТИ		
Формат А3		

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

(наименование вида работы)

Данасултан Ерик Бауржанулы

(Ф.И.О. обучающегося)

6B07108 – Транспортная инженерия

(шифр и наименование ОП)

Тема: Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу

Дипломная работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию. Тема дипломной работе актуальна и посвящена совершенствованию технологии электролитического хромирования колесных дисков. Были рассмотрены достоинства и недостатки разных методов хромирования. За основу совершенствование технологии электролитического хромирования, мною было выбрано комбинированное покрытие. Так как, оно повышает износостойкости и коррозионной стойкости. Дает возможность улучшения механических свойств покрытия. Расширяет области применения.

Комбинированные покрытия представляют собой многослойные системы, в которых каждый слой выполняет определенные функции, улучшая общие эксплуатационные характеристики детали. В случае с автомобильным диском, подверженным гидроабразивному износу, применение комбинированных покрытий может значительно увеличить срок его службы и улучшить его эксплуатационные характеристики.

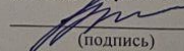
На основе проведенного анализа, студентом была предложена к применению усовершенствованная технология хромирования на основе комбинированного способа гальванической металлизации. Было выявлено, что комбинированное хромирование более дорогое за счет увеличения электроэнергии и применения дополнительных материалов, но комбинированные методы, такие как многослойные покрытия с использованием никеля и других материалов, обеспечивают более равномерное и полное покрытие, даже в самых труднодоступных местах. Предложенный метод позволяет лучше контролировать толщину и структуру покрытия, что повышает его износостойкость и коррозионную стойкость.

Рекомендую принять дипломную работу к защите.

Научный руководитель

Ассоциированный профессор, к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)



(подпись)

Токмурзина-Коберняк Н.А.

«30» мая 2024 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

(наименование вида работы)

Данасұлтан Ерік Бауржанұлы

(Ф.И.О. обучающегося)

6B07108 – Транспортная инженерия

(шифр и наименование ОП)

(шифр и наименование ОП)

Тема: «Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановлению деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу.»

Выполнено:

а) графическая часть на слайдах (листах)

б) пояснительная записка на страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Представленный на рецензию дипломная работа посвящена вопросам совершенствования технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, подверженных гидроабразивному износу.

Данная работа направлена на решение актуальной проблемы автомобильной промышленности и внесение вклада в развитие технологий восстановления изношенных деталей, что является важной задачей как для науки, так и для практики. В работе проведен анализ существующих технологий электролитического хромирования и выявлены их недостатки, разработаны новые подходы и оптимизация технологических параметров процесса.

В качестве замечания необходимо отметить следующее: мало ссылок на использованную литературу и на формулы. В целом дипломная работа выполнена в полном объеме.

Оценка работы

Дипломная работа выполнена на хорошем техническом уровне, заслуживает оценки В +, 85%, «хорошо», а ее автор Данасұлтан Ерік Бауржанұлы заслуживает присвоения академической степени бакалавра по специальности 6B0710B – Транспортная инженерия.

Рецензент

Ассоциированный профессор АЛТ

университета, доктор PhD

(должность, ученая степень, звание)

Г.Б.Бақыт

2024г.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Данасұлтан Ерік

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Данасұлтан

Научный руководитель: Нурбол Камзанов

Коэффициент Подобия 1: 4.1

Коэффициент Подобия 2: 1.4

Микропробелы: 43

Знаки из других алфавитов: 20

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

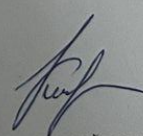
☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2024-06-12

Дата

Перизат Кәрібай


проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Данасултан Ерік

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Данасултан

Научный руководитель: Нурбол Камзанов

Коэффициент Подобия 1: 4.1

Коэффициент Подобия 2: 1.4

Микропробелы: 43

Знаки из других алфавитов: 20

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, являются законным и не являются плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2024-06-12

Дата

13.06.2024

Заведующий кафедрой

