

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Методические указания

к лабораторной работе по дисциплине
«Восстановительные технологии»
на тему **«Исследование физико-механических
свойств гальванических покрытий»**
для студентов специальности 1-37 01 07 «Автосервис»

Брест 2016

УДК 621.9 (075.8)

В методических указаниях приведены основные теоретические сведения о гальванических процессах, свойствах покрытий и их разновидностях. Кроме того, изложена информация, касающаяся технологии нанесения гальванических покрытий и контроля их качества. Изложены подробные рекомендации по выполнению лабораторной работы на данную тему, а также требования к содержанию и оформлению отчета. Методические указания предназначены для студентов специальности 1-37 01 07 «Автосервис».

Составители: А.Н. Парфиевич, ст. преподаватель
В.А. Сокол, ст. преподаватель
Ю.Н. Саливончик, ст. преподаватель

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: изучить свойства гальванических покрытий, технологию их нанесения и методы контроля их толщины.

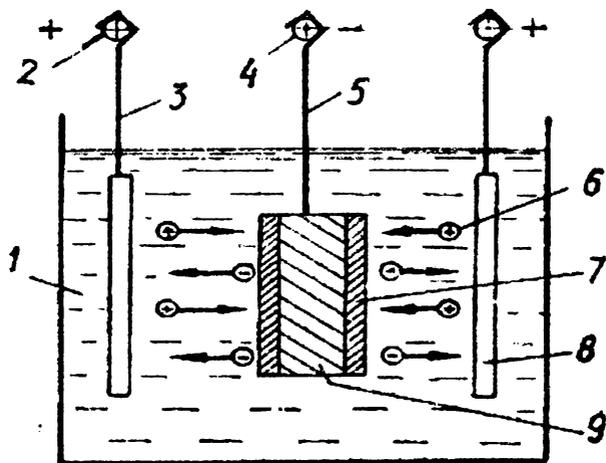
Инструменты и принадлежности: комплект втулок, весы технические с разновесами, микроскоп металлографский мод. МИМ-6, микроскоп металлографский мод. МЕТАМ РВ-21, микрометр МК 0-25 ГОСТ 6507-90, штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89.

Основные положения

Гальваническое покрытие – металлическая пленка толщиной от долей мкм до десятых долей мм, наносимая на поверхность металлических и неметаллических изделий путем электролитического осаждения металлов. Металлопокрытия – тонкие металлические или органические поверхностные покрытия металлических изделий, позволяющие улучшить их внешний вид, защитить от коррозии, повысить износостойкость, улучшить электрический контакт, облегчить пайку, изменить отражательные или поглощательные свойства в инфракрасном и видимом диапазонах спектра, а также нарастить размеры изделия. Серебро, золото, никель и хром наносятся на поверхность стали или других металлов как для улучшения внешнего вида, так и для защиты от коррозии. Кадмий и цинк используются для защиты от электрохимической коррозии; эти металлы защищают сталь за счет собственной коррозии, причем степень защиты практически пропорциональна толщине или массе покрытия. Другие металлы, используемые в качестве покрытий для стали, такие как медь, никель, хром, олово, кобальт, серебро, золото и свинец, действуют как защитные пленки; степень защиты пропорциональна толщине лишь до тех пор, пока толщина обеспечивает непроницаемость покрытия. Толстые хромовые покрытия используются главным образом для увеличения износостойкости; кадмий и серебро применяются, когда надо обеспечить хороший электрический контакт; олово, медь, кадмий и никель – хорошие покрытия для пайки; родий, серебро и золото используются для увеличения отражательной способности поверхностей; черное оксидирование (воронение) применяется для увеличения поглощательной способности и собственного излучения поверхности; покрытия из никеля, хрома и железа позволяют наращивать размеры деталей.

Под *гальваническими процессами* понимаются процессы, которые связаны с осаждением одного металла на другой в среде электролитов. Покрытия, которые получают с помощью данного процесса, отличаются высокой прочностью, а сам процесс – экономичностью. Электролитами служат водные растворы солей и кислот. Сущность электролитического процесса сводится к следующему: молекулы солей, растворенные в воде, распадаются на положительные и отрицательные ионы. Положительными являются ионы водорода и металлов, а отрицательными – кислотные и водные остатки. При пропускании через раствор

постоянного электрического тока, те ионы, которые заряжены положительно, стремятся к отрицательному электроду, а ионы, заряженные отрицательно – к положительному. Электрод, служащий положительным полюсом, называется анодом, а отрицательный – катодом. Ионы металлов заряжаются положительно и стремятся к катоду, в качестве которого выступает покрываемое изделие. А анодом служит пластинка из металла, которым покрывается изделие. При всех гальванических процессах используются ванны, изготовленные из специальных материалов.



1 – ванна; 2 – анодная штанга; 3 – крюк (подвеска) для завешивания анода; 4 – катодная штанга; 5 – крюк-подвеска для завешивания детали (катада); 6 – ионы металла (катионы); 7 – покрытие; 8 – анод; 9 – деталь (катод)

Рисунок 1 – Схема электрохимического осаждения металла

При прохождении постоянного тока через электролит на аноде 3 происходит растворение металла (переход его в электролит) и выделение кислорода, а на катоде 9 (деталь) – отложение металла и выделение водорода.

1 Требования к поверхностям и покрытиям

Качество поверхности основного металла, на которую наносится гальваническое покрытие, должно соответствовать ГОСТ 9.301–78. Параметры шероховатости поверхности основного металла должны быть не более: $Rz = 40$ мкм под защитные покрытия; $Ra = 2,5$ мкм под защитно-декоративные; $Rz = 40$ мкм под специальные покрытия в зависимости от функционального назначения; $Ra = 1,25$ мкм под твердые и электроизоляционные анодно-окисные покрытия.

Указанные требования к шероховатости поверхности не распространяются на нерабочие труднодоступные для обработки и нерабочие внутренние поверхности деталей, резьбовые поверхности, поверхности среза штампованных деталей толщиной до 4 мм, а также на детали, шероховатость поверхности основного металла которых установлена соответствующими стандартами. Необходимость доведения шероховатости указанных поверхностей до установленных

значений и необходимость дополнительной защиты этих участков после нанесения покрытий для обеспечения заданной коррозионной стойкости должны быть оговорены в технической документации. На поверхности деталей не допускаются: неоднородность проката, закатанная окалина, заусенцы, расслоения и трещины, выявившиеся после травления, полирования и шлифования, поры и раковины, приводящие к тому, что размеры детали после контрольной зачистки выходят за предельные отклонения.

Поверхность деталей, изготовленных из горячекатаного металла, должна быть очищена от травильного шлама, продуктов коррозии основного металла и других загрязнений.

На поверхности литых и кованных деталей не должно быть пор, газовых и усадочных раковин, шлаковых включений, спаев, недоливов, трещин. Детали после галтовки, гидро- и металло-пескоструйной обработки не должны иметь на поверхности травильного шлама, шлака, продуктов коррозии и заусенцев. На шлифование и полирование детали должны поступать без забоин, вмятин, прижогов, рисок, заусенцев и дефектов от рихтовочного инструмента.

Острые углы и кромки деталей должны быть скруглены радиусом не менее 0,3 мм или иметь фаски (за исключением технически обоснованных случаев).

Швы на сварных и паяных деталях должны быть зачищены, непрерывны по всему периметру и исключать затекание электролита в зазор. Прерывистые швы должны быть предварительно загерметизированы.

2 Качество покрытий

Должно соответствовать ГОСТ 9.301–78. Для всех видов покрытий установлены требования к внешнему виду и, при необходимости, к специальным свойствам. Кроме того, для металлических покрытий устанавливают требования к толщине, пористости и прочности сцепления и в случае покрытий сплавами – к химическому составу; а для неметаллических неорганических покрытий – требования к защитным свойствам и, при необходимости, к толщине.

Специальные свойства покрытий должны соответствовать требованиям конструкторской документации.

По толщине, химическому составу, защитным свойствам и пористости покрытия должны соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 9.301–78.

Вид и толщину покрытия деталей (согласно ГОСТ 9.301–78, ГОСТ 9.073–77, ГОСТ 21484–76) выбирают в соответствии с требованиями, приведенными в нормативно-технической документации. Исключение составляют детали, для которых толщину покрытия устанавливают независимо от условий эксплуатации: детали, выполненные по 7, 8 и 9-му квалитетам или имеющие посадки с натягом; резьбовые детали; пружины.

Вид дополнительной защиты деталей всегда оговаривается в конструкторской документации.

3 Свойства металлических покрытий

Вид и толщину покрытия выбирают в соответствии с требованиями конструкторско-технологической документации, определяемыми при разработке изделия в зависимости от условий его эксплуатации или хранения.

По назначению металлические покрытия делятся на следующие группы: защитные, защитно-декоративные, декоративные и функциональные. Деление покрытий по назначению носит условный характер, и целый ряд покрытий специального назначения могут применяться для декоративной отделки.

Твердость покрытий, электрические и электрохимические свойства, шероховатость покрытий, способность к пайке, электроизоляционные и магнитные свойства определяют назначение покрытий.

Защитные покрытия. Основная область применения цинковых и кадмиевых покрытий – защита изделий из стали и чугуна от атмосферной коррозии. Так как цинк имеет более отрицательный потенциал, чем железо, то в контакте с ним, при наличии коррозионной среды (КС), в порах цинкового покрытия образуется гальванический элемент, в котором железо служит катодом, а разрушению подвергается цинк – анод. Таким образом, цинковое покрытие является анодным и защищает черные металлы не только механически, но и электрохимически. Электродные потенциалы кадмия и железа близки друг к другу, поэтому при эксплуатации изделий с кадмиевым покрытием характер защиты в большой степени зависит от характера среды и условий эксплуатации. Кадмирование применяется в тех случаях, когда изделия из черных и цветных металлов подвергаются действию атмосферы или жидкой среды, содержащей хлориды (морская вода), а также в тропических условиях эксплуатации, где кадмий защищает изделия электрохимически, являясь анодным покрытием.

Сравнительно высокая стойкость цинка в атмосфере и доступность обеспечили его широкое применение для защиты стальных листов, проволоки, крепежа деталей машин, водопроводных труб, резервуаров, бензинопроводов. Цинковые покрытия с последующим нанесением жаростойкого лака, содержащего порошки алюминия или цинка в качестве ингибиторов коррозии, могут использоваться для защиты стальных глушителей и выхлопных труб автомобильной техники.

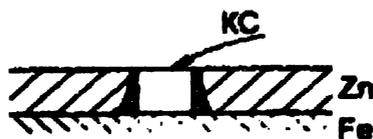


Рисунок 2 – Схема коррозии анодных покрытий

Продолжительность защитного действия цинковых и кадмиевых покрытий зависит в основном от характера коррозионной среды, температуры, толщины покрытий.

Начало коррозии цинка и кадмия может быть сильно замедлено после обработки покрытых изделий хроматными растворами.

С целью повышения коррозионной стойкости цинковых покрытий их получают из электролитов с блескообразующими добавками, которые снижают пористость покрытий, либо получают легированные никелем, кобальтом, молибденом, железом цинковые покрытия.

Покрытие сплавом цинк-железо с черной хроматной пленкой отличается высокой коррозионной стойкостью и может использоваться в камерах автомобильного двигателя, где температура достигает более 1000 °С. Беспористые

цинковые покрытия можно получить, используя нестационарные режимы электролиза, что также позволяет снизить толщину цинковых покрытий.

Толщина цинкового покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации изделий и устанавливается ГОСТом 9.303-84.

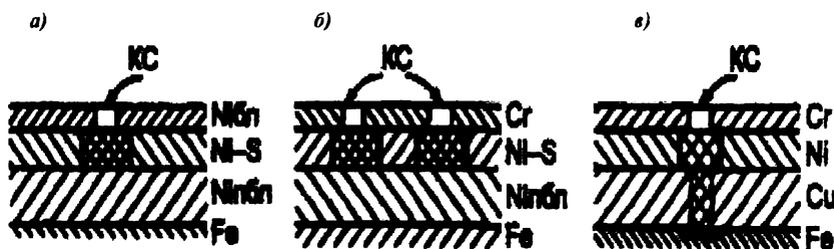
Защитно-декоративные покрытия. К защитно-декоративным покрытиям относят покрытия из никеля и хрома, которые, будучи катодными по отношению к железу, не обеспечивают электрохимической защиты от коррозии, как цинк и кадмий. Однако при отсутствии сквозных пор, что достигается либо нанесением покрытия толщиной 25-30 мкм, либо нанесением подслоя, катодные покрытия создают достаточно надежную защиту углеродистых сталей от коррозии.

Высокие декоративные свойства никелевых и хромовых покрытий широко используют в различных отраслях промышленности для получения блестящей и полублестящей поверхности, стойкой в различных климатических условиях, учитывая которые, устанавливают необходимую толщину покрытий в соответствии с ГОСТом 9.303-84.

В последнее время широкое распространение в автомобильной промышленности получают многослойные покрытия: биникель, триникель, никель-никель-хром, никель-кобальт-кремний, цинк-никель.

Биникель – двухслойное никелевое покрытие, в котором первый слой – полублестящий с малой пористостью, второй – блестящий, содержащий серу. Второй слой вследствие повышенного содержания серы электроотрицателен по отношению к первому и в контакте с агрессивной средой электрохимически защищает его от коррозии.

Триникель представляет собой трехслойное покрытие полублестящего никеля, блестящего никеля с повышенным содержанием серы и наружный слой полублестящего или блестящего никеля. Трехслойные никелевые покрытия по своей коррозионной стойкости в 2-3 раза превосходят одно- и двухслойные. При этом коррозия в порах промежуточного слоя, служащего активным анодом в системе, распространяется горизонтально вдоль границы блестящего и полублестящего слоев.



а) – триникель; б) – никель полублестящий-никель блестящий-хром; в) – медь-никель-хром
Рисунок 3 – Схема коррозии многослойных покрытий

Широко используемое ранее многослойное покрытие медь (20-30 мкм) – никель (10-20 мкм) – хром (0,25-1 мкм) лучше защищает сталь от коррозии, чем однослойное никелевое или хромовое. Однако при наличии пор в покрытиях основной металл (сталь) может подвергаться коррозии и в этом случае (рисунок 3в). Для непосредственного нанесения медного покрытия на сталь можно использо-

вать цианистый электролит меднения, позволяющий получать равномерные осадки с мелкокристаллической структурой даже на сложнопрофильных деталях.

Износостойкие покрытия. Для повышения твердости и износостойкости на поверхности деталей машин и приборов наносят износостойкие покрытия хромом, железом и никелем.

Твердость хромовых покрытий зависит от параметров электролиза – температуры электролита и плотности тока осаждения.

Процесс хромирования сопровождается значительным выделением водорода, который частично проникает в стальную основу, ухудшая ее физико-механические свойства. Поэтому после хромирования необходимо проводить термообработку покрытия в области температур 250-300 °С, снижение твердости хромового покрытия при этом незначительно.

Толщина хрома при износостойком хромировании может находиться в пределах от 9 до 60 мкм, а при восстановлении изношенных деталей достигает 500 мкм. Электролиты для твердого и защитно-декоративного хромирования имеют одинаковый состав – хромовый ангидрид и серную кислоту.

На основе твердого хромового покрытия можно получить покрытие с хорошими антифрикционными качествами: с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью, что снижает потери на трение при отсутствии слоя смазки. С этой целью наносится двухслойное хромовое покрытие: нижний плотный и верхний пористый хром, способствующий проникновению и удержанию в нем масла. Также хромовые покрытия обладают следующими достоинствами: высокой твердостью – материал покрытия значительно тверже материала, на который непосредственно наносится покрытие; хромовые покрытия существенно уменьшают износ вследствие истирания; высокая температура плавления хрома – 1920°С, что на 650 °С выше температуры плавления серого чугуна и на 180 °С выше температуры плавления стали, что определяет: низкую склонность хромового покрытия к спеканию и заеданию; высокую коррозионную стойкость хромового покрытия. Несмотря на это для данного типа покрытий есть следующие недостатки: оно трудно прирабатывается; обладает низкой теплостойкостью, из-за чего при работе происходит его растрескивание; плохо удерживает на своей поверхности масло.

Гальваническое железнение применяют обычно для восстановления размеров изношенных деталей, слой покрытия можно осаждать толщиной до 2-3 мм. Железное покрытие можно подвергать цементации и закалке для придания ему твердости закаленной стали.

Композиционные электрохимические покрытия. Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) являются двухфазными осадками, состоящими из металла-матрицы и частиц порошка, которые цементируются матрицей. Процесс нанесения КЭП выполняется при непрерывном перемешивании электролита-суспензии, и частицы второй фазы постоянно находятся во взвешенном состоянии, механически попадая на поверхность катода и зарастиваясь слоем металла. Размер дисперсных частиц, вводимых в электролиты, находится в пределах от 0,01 до 100 мкм. Чаще всего выбираются порошки со средним диаметром частиц 1-3 мкм, которые, находясь в металлической матрице, обеспечивают достаточное упрочнение и изотропность физико-механических свойств композиционного покрытия.

КЭП, образованные за счет включения оксидов, карбидов, нитридов, боридов, обладают повышенной твердостью и износоустойчивостью по сравнению с чистыми металлическими покрытиями, причем высокая твердость сохраняется во времени и после высокотемпературной обработки. В качестве второй фазы могут служить также и металлические порошки никеля, кобальта, железа, вольфрама, молибдена, ниобия и ванадия.

КЭП на основе никеля используются в качестве термостойких и износоустойких, многослойных с повышенной коррозионной стойкостью, самосмазывающихся покрытий. В автомобильной промышленности с помощью композиционного покрытия «химический никель-фторопласт» решаются проблемы сухой смазки, например в замках дверей, в элементах конструкции коробки передач и сцепления. Облегченные цилиндры из Al-Si-сплава приобретают высокую износоустойчивость при нанесении на них химическим путем композиционных никелевых покрытий.

КЭП на основе хрома с частицами графита или смеси графита и карбида кремния используются для работы в условиях трения без смазки. Хромовые покрытия с ультрадисперсными алмазами отличаются высокой износоустойчивостью.

Свинцевание и оловянирование. Свинцовые покрытия, наносимые на изделия из черных сплавов, при условии и их беспористости, применяют для защиты изделий от коррозии в загрязненной промышленной атмосфере, в растворах серной кислоты, в сернистых соединениях. Толщина свинцовых покрытий может достигать 300 мкм и более.

Для свинцевания используют кислые электролиты на основе растворимых солей свинца. Для повышения прочности сцепления покрытия толщиной более 100 мкм предварительно рекомендуется проводить пескоструйную или гидроабразивную обработку металла основы.

Помимо защиты от коррозии изделий пищевой промышленности и обеспечения пайки, оловянные покрытия используют для защиты от азотирования. Оловянное покрытие является катодным по отношению к стали и анодным по отношению к медным сплавам. Для повышения твердости и износоустойчивости покрытия олово легируют никелем, кобальтом или висмутом.

Неметаллические неорганические покрытия. Процесс фосфатирования заключается в образовании на поверхности металлических деталей пленок из фосфатов железа, марганца, цинка, которые могут быть пригодны для работы в трибосистемах. Коррозионную стойкость фосфатных покрытий можно заметно улучшить путем пропитки их в антикоррозионных маслах. Фосфатирование применяется перед нанесением лакокрасочных покрытий, для облегчения вальцовки, прокатки и других способов обработки металлов. Фосфатированию могут также подвергаться цинковые и кадмиевые покрытия, изделия из алюминия и его сплавов. Получаемые оксидно-фосфатные пленки являются хорошим грунтом под окраску.

4 Технология нанесения гальванических покрытий

Для обеспечения эксплуатационных характеристик деталей машин используются различные методы нанесения защитных покрытий: гальванические, диффузионные, погружением в расплав, вакуумные, напыления с использованием плазменной техники.

Технологический процесс нанесения гальванического покрытия представляет собой целый комплекс, основными операциями которого являются подготовка поверхности покрываемого изделия, нанесение гальванического покрытия, обработка гальванического покрытия.

Подготовка поверхности деталей. Для получения качественных гальванических осадков поверхность металлических деталей должна быть соответствующим образом подготовлена. Подготовка поверхности состоит в удалении с нее жиров и органических загрязнений, окалины, оксидов, заусенцев, облоя, рисок и других поверхностных дефектов. Прочность сцепления покрытий значительно зависит от шероховатости поверхности. Чем ниже шероховатость поверхности основного металла, тем качественнее наносимые покрытия: меньше пористость и выше защитные свойства. В зависимости от назначения покрытия подготовку поверхности основного металла проводят по-разному. Перед нанесением защитных покрытий (цинковых, кадмиевых) подготовка поверхности сводится в основном к обезжириванию и травлению. Перед нанесением защитно-декоративных покрытий (никелевых, хромовых) требуется еще механическая обработка для получения гладкой поверхности, так как в процессе нанесения указанных покрытий дефекты поверхности могут стать более рельефными, поскольку плотность тока и толщина на выступах больше, чем в углублениях.

К механическим способам подготовки поверхности относятся струйно-абразивная обработка, галтовка, виброабразивная обработка, шлифование и полирование.

Струйно-абразивная обработка обеспечивает получение однородной матовой поверхности с удалением окалины, ржавчины, забоин, царапин и может выполняться несколькими способами. При гидроабразивной обработке на поверхность обрабатываемых изделий под давлением 0,1-0,6 МПа подается абразивно-водная пульпа, в состав которой входят кварцевый или металлический песок, шлифовальные порошки и вода в соотношении 1:4. Для предотвращения коррозии стальных деталей в состав вводят нитрит натрия и кальцинированную соду. Размер частиц абразивного материала выбирается в зависимости от характера изделий, материала обрабатываемого металла и природы удаляемых оксидов и колеблется в пределах 0,15-0,5 мм для песка, 0,08-0,2 мм для электрокорунда. При обработке литых и штампованных деталей применяется дробеструйная обработка с использованием чугунной и стальной дроби размером 0,1-2,0 мм.

Галтовка заключается в обработке мелких деталей во вращающихся металлических барабанах. Окалина, ржавчина, заусенцы и другие дефекты поверхности удаляются с деталей в результате взаимного трения последних в среде наполнителей. При сухой галтовке детали вместе с песком загружают на 1/3 или на 2/3 объема барабана. При мокрой галтовке применяют раствор кальцинированной соды или тринатрийфосфата (20 г/л) и ПАВ. Продолжительность обработки зависит от состояния поверхности и находится в пределах 2-50 ч.

Виброабразивная обработка деталей приводит к сглаживанию их поверхности в результате колебательных движений деталей в специальных контейнерах, куда также загружается наполнитель из абразивных материалов (бой шлифовальных кругов, шлифовальные порошки и др.). Контейнер совершает колебательные движения с частотой 1500-3000 колебаний в минуту с амплитудой до 5 мм в течение 2-5 ч.

Шлифование применяют для удаления царапин, забоин и других дефектов с целью получения гладкой поверхности и проводят в несколько переходов с постепенным уменьшением размера зерна абразивного материала. В качестве обрабатывающего инструмента служит эластичный круг, изготовленный из войлока, фетра, сукна, кожи, хлопчатобумажных материалов, на которые клеятся зерна абразивного материала.

Полирование является заключительной операцией декоративной отделки, в результате которой параметр шероховатости поверхности снижается до 0,4–0,2 мкм. Полирование осуществляется с помощью кругов из фетра, войлока, бязи, которые периодически смазываются полировальными пастами. В состав полировальных паст вводятся мелкие микропорошки и абразивные материалы (оксид хрома, оксид алюминия, венская известь). Широкое распространение получают водорастворимые пасты, содержащие дополнительно мыло и глицерин, что облегчает удаление следов пасты с поверхности металла без применения растворителей. Водорастворимые пасты легко удаляются при выдержке их в горячей воде или пятипроцентном растворе кальцинированной соды.

Химическая подготовка поверхности заключается в обезжиривании поверхности деталей и может выполняться различными способами: в органических растворителях, в щелочных растворах и электрохимически.

Обезжиривание растворителями является эффективным средством очистки деталей от полировочных паст и консистентных смазок. Однако их применение ограничено большой пожарной опасностью одних растворителей и высокой токсичностью других.

Химическое обезжиривание в щелочных растворах или в мощных препаратах применяется с целью удаления жировых загрязнений с поверхности металла. Щелочные компоненты оказывают омыляющее действие, переводя растительные и животные жиры в растворимую форму.

Электрохимическое обезжиривание является наиболее эффективным методом очистки поверхности деталей, так как выделяющиеся на деталях пузырьки водорода (катодное обезжиривание) или кислорода (анодное обезжиривание) способствуют отрыву жировых частиц от поверхности. Электрохимическое обезжиривание проводится после предварительного химического обезжиривания или обезжиривания растворителями. Катодное обезжиривание более эффективно, так как при одном и том же количестве прошедшего электричества водорода выделяется в 2 раза больше по объему, чем кислорода. Кроме того, в катодной зоне происходит подщелачивание раствора, что способствует лучшему омылению жировых загрязнений, тогда как в анодной зоне содержание щелочи снижается. Недостатком катодной обработки является наводороживание металла, для уменьшения которого в состав раствора рекомендуется вводить ПАВ.

Травление. Для удаления с поверхности деталей оксидов проводят химическое или электрохимическое травление в кислых растворах для изделий из черных металлов и в щелочных растворах - для сплавов алюминия.

Процесс травления сопровождается растворением части металла и наводороживанием, которое можно уменьшить, вводя в растворы вещества-ингибиторы.

Электрохимическое анодное травление применяют в том случае, когда опасно наводороживание, оно проводится в разбавленных серноокислых или соляноокислых растворах.

Детали из высоколегированных и коррозионностойких сталей обрабатываются в несколько стадий: разрыхление окалины, кислотное травление и осветление. Кислотное травление проводят в смеси кислот. Осветление – удаление шлама в виде темного налета.

Активация деталей проводится непосредственно перед их погружением в гальваническую ванну с целью удаления тончайших оксидных пленок. Обработку деталей проводят в разбавленных растворах кислот в течение 15-60 с.

Нанесение гальванических покрытий. При электрохимическом способе получения металлических покрытий (электролизе) покрываемые изделия являются катодом, на котором протекает процесс осаждения требуемого металлического осадка, в большинстве случаев из водных электролитов. Используемые аноды могут быть растворимыми и нерастворимыми, на которых либо выделяется газообразный кислород, либо протекают необходимые процессы формирования пленок.

Достоинствами электрохимического метода являются получение покрытий строго определенного состава, свойств и толщины, возможность механизации и автоматизации процесса.

Однако процесс электролиза требует применения внешнего источника питания и дополнительного оборудования и химикатов для регенерации отработанных электролитов и очистки промывных сточных вод.

Основным параметром процесса электролиза является катодная плотность тока, определяемая отношением силы тока к площади катодной поверхности.

В процессах электроосаждения металлов, протекающих с выходом тока менее 100 %, на катоде происходит побочная реакция выделения водорода, который в атомарном состоянии проникает в металл, вызывая в нем внутренние напряжения. В результате высоких внутренних напряжений в стальных конструкциях возникают усталостные явления, хрупкость, растрескивание, разрушение при нагрузках. Для уменьшения и предотвращения наводороживания в электролиты вводят специальные добавки и проводят последующую термообработку изделий.

Качество и структура покрытий зависят от плотности тока, температуры, состава электролита и режима электролиза.

Повышение плотности тока способствует образованию мелкокристаллических осадков, однако оно ограничено предельно допустимым значением, после которого осадок получается рыхлым, губчатым.

Повышение температуры электролита увеличивает электропроводность, уменьшает солевую пассивацию анодов, позволяет работать с большей плотностью тока, тем самым уменьшая вероятность образования крупнокристаллических осадков.

Для ускорения процесса нанесения гальванических покрытий используют перемешивание, что позволяет увеличить значение плотности тока.

Для улучшения структуры и физико-механических свойств осадков используют нестационарные режимы электролиза – импульсный или реверсивный токи. Получаемые покрытия при этом имеют мелкокристаллическую, гладкую структуру, отличаются высокой коррозионной стойкостью, повышенной твердостью и износостойкостью.

Одним из основных факторов, влияющих на структуру металлического покрытия, является состав электролита. Например, осадки цинка, олова и других металлов, полученные из электролитов, состоящих из простых солей металлов, получают крупнокристаллическими; осадки этих же металлов, осаждаемые из комплексных электролитов (щелочных, цианистых), получают мелкокристаллическими. Для нанесения гладких, равномерных по толщине, плотных и мелкокристаллических осадков в электролиты, содержащие простые соли, вводят различные органические соединения.

Обработка гальванических покрытий. К заключительным операциям технологии получения металлических покрытий относятся осветление, промасливание, нанесение лакокрасочных покрытий, обезводороживание.

Кроме основных операций, в технологический процесс нанесения гальванических покрытий входят вспомогательные операции промывки и сушки.

Промывку осуществляют между отдельными подготовительными операциями (обезжиривание, травление, активация) для предотвращения переноса компонентов раствора с деталями и подвесками из одной ванны в другую. Детали промывают после нанесения покрытия и заключительных операций для удаления с них и подвесок остатков электролита. Промывка осуществляется либо в одиночных одноступенчатых ваннах, либо в многоступенчатых каскадных. Расход воды на промывку определяется согласно ГОСТ 9.047-75 и зависит от удельного выноса раствора из ванн поверхностью деталей, площади промываемой поверхности, числа ступеней промывки и критерия промывки. Критерий промывки показывает, во сколько раз следует снизить концентрацию раствора, выносимого поверхностью деталей, до значений, предельно допустимых в ванне промывки. После окончательной промывки теплой или горячей водой детали сушат. Быстрая и качественная сушка препятствует возникновению на поверхности покрытия пятен и полос.

5 Контроль качества гальванических покрытий

К гальваническим покрытиям, применяемым в различных областях техники, предъявляется ряд требований по их физико-механическим свойствам. ГОСТ 9.302-88 предусматривает определение толщины, пористости, прочности сцепления, защитных свойств неметаллических неорганических покрытий.

Защитные свойства металлических и неметаллических неорганических покрытий контролируются по ГОСТ 9.308-85, в котором используются методы ускоренных коррозионных испытаний с применением камер тепла, влаги, холода, давления и различных сред.

Микротвердость покрытий определяется по ГОСТ 9450-76. При внешнем осмотре деталей с покрытием можно выявить такие дефекты покрытий, как питтинг, «подгары» и «вытяжки» (темные пятна и полоски на покрытии), неоднородность цвета и блеска, шероховатости.

Измерение толщины покрытий. Во многих случаях решающим признаком качества покрытия является его толщина. При контроле толщины покрытия следует учитывать, что даже на деталях простой конфигурации толщина слоя металла неодинакова в различных точках; еще больший разброс в толщине слоя существует на профилированных изделиях. Поэтому в ряде случаев необходимо измерять не только среднюю толщину покрытия, но и минимальную на оп-

ределенных участках изделия. Для определения толщины гальванических покрытий используются как разрушающие, так и неразрушающие методы.

Методы контроля толщины покрытия с разрушением изделия делятся на химические, вызывающие разрушение только покрытия, и физические, при использовании которых нарушается целостность самого изделия.

Самым простым неразрушающим методом для определения средней толщины покрытия на деталях массой не более 200 граммов является гравиметрический метод. Он основан на определении массы покрытия путем взвешивания деталей на аналитических весах до и после получения покрытия. Относительная погрешность метода $\pm 10\%$.

Расчёт средней толщины покрытия (мкм) проводят по формуле:

$$H_{cp} = [(m_1 - m_2) \cdot 10000] / (S \cdot g), \text{ мкм}, \quad (1)$$

где m_1 – масса детали (партии деталей) после получения покрытия, г;

m_2 – масса детали (партии деталей) до получения покрытия, г;

S – площадь поверхности покрытия, см^2 ;

g – плотность металла покрытия, г/см^3 .

Наибольшее распространение в промышленности среди разрушающих методов получил *капельный метод*, что обусловлено его универсальностью и простотой выполнения операций измерения. Метод основан на растворении покрытия каплями раствора, наносимыми на поверхность детали и выдерживаемыми в течение определенного промежутка времени. Проверка толщины покрытия капельным методом сводится к следующему. На поверхность покрытия из капельницы с внутренним диаметром кончика капилляра 1,5-2,0 мм наносят каплю раствора и выдерживают ее заданное время. Затем каплю удаляют фильтровальной бумагой и на ее место наносят вторую каплю раствора. Эту операцию проводят до тех пор, пока на этом месте появится основной металл или подслоя. Относительная погрешность капельного метода составляет $\pm 30\%$, что снижает его информативность. Для повышения точности метода предлагается применять его в сочетании с гравиметрическим. Для этого необходимо иметь несколько стандартных образцов, на которые наносятся гальванические покрытия различной толщины.

Стандартные образцы служат в качестве контрольных и прикладываются к приготовленному раствору.

Перед определением толщины покрытия на детали производят замер толщины на стандартном образце, тем самым определяя пригодность раствора. Определение толщины покрытия на образце и детали проводят в соответствии с ГОСТ 9.302-88.

Электроструйный метод основан на растворении покрытия раствором, вытекающим на поверхность детали в виде струи с определенной скоростью. Толщину покрытия рассчитывают по времени, затраченному на растворение покрытия. Данный метод применим для быстрого и точного измерения местной толщины одно- и многослойных покрытий.

Кулонометрический метод основан на локальном анодном растворении постоянным током ограниченного участка гальванопокрытия с калиброванной

поверхностью. Этим методом можно определять толщину от 0,1 до 100 мкм однослойных и многослойных покрытий на металлической и неметаллической поверхности деталей с точностью $\pm 10\%$.

К группе физических разрушающих методов относятся *металлографический, метод хорды и спектральный*.

Металлографический метод основан на определении толщины покрытия на поперечном шлифе и применим для измерения толщины одно- и многослойных покрытий. Микрошлиф вырезается из детали так, чтобы плоскость покрытия была перпендикулярна к плоскости шлифа. *Метод хорды и спектральный* сложны по исполнению и дают относительно большие погрешности, поэтому не находят большого практического использования.

Среди неразрушающих способов наибольшее распространение находят *магнитный и электромагнитный методы*, которые позволяют определять толщину немагнитного покрытия на стали, чугуне, никеле, а также толщину магнитного покрытия на немагнитном материале. *Методом вихревых токов* можно измерять толщину неэлектропроводных покрытий, полученных на деталях из ферромагнитного материала.

Термоэлектрический метод основан на регистрации разности напряжений, возникающих под действием теплоты между основным металлом и металлическим покрытием, вызванной различием их масс и теплопроводности, зависящей от толщины покрытия. Метод применим для измерения толщины никелевых покрытий 5-40 мкм на деталях из стали, меди, цинка, а также из их сплавов. Погрешность метода $\pm 15\%$.

Метод ионизирующего излучения основан на измерении интенсивности обратного рассеяния β -излучения в зависимости от толщины покрытия или регистрации и анализа возбужденного при помощи радиоизотопного источника спектра рентгеновского излучения материала покрытия и основного металла. В случае измерения толщины металлопокрытия разница атомных номеров основного металла и покрытия должна быть более двух единиц. Относительная погрешность этого метода $\pm 10\%$.

Методические указания

Для выполнения работы студентам выдаётся комплект втулок с нанесёнными покрытиями.

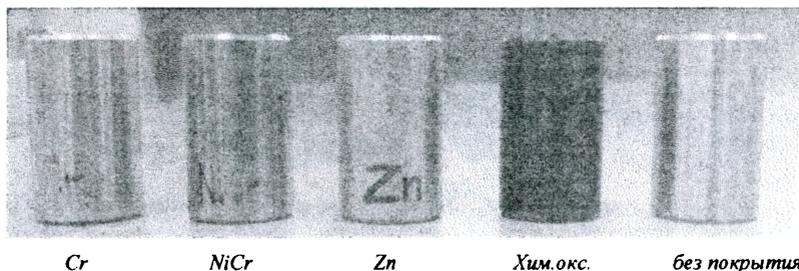


Рисунок 4 – Общий вид втулок с гальваническими покрытиями и без покрытия

Средняя толщина гальванического покрытия каждого из изделий определяется при помощи металлографического микроскопа МИМ-6. Микроскоп металлографический вертикальный МИМ-6 представляет собой модель вертикального металлографического микроскопа и предназначен для визуального наблюдения и фотографирования микроструктуры металлических шлифов и других непрозрачных объектов. Прилагаемый к микроскопу набор объективов и окуляров дает возможность получать увеличения от $\times 63$ до $\times 600$ при визуальном наблюдении. Наблюдение производится только в светлом поле при прямом или косом освещении.

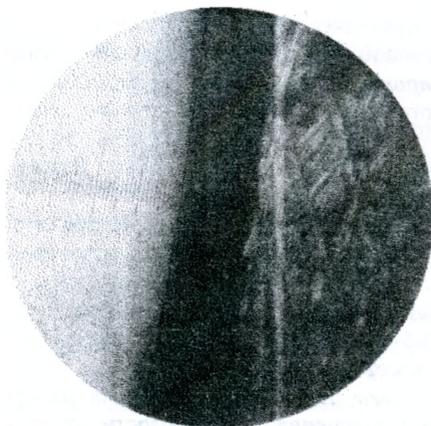
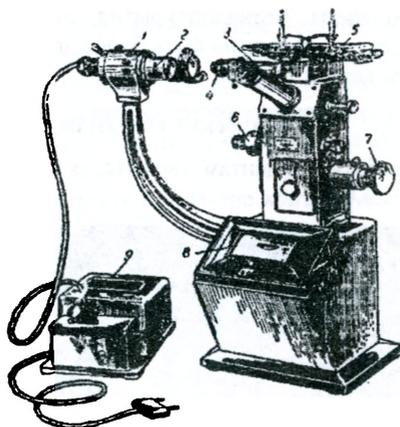


Рисунок 5 – Пример изображения с измерением толщины никелевого покрытия



1 – лампа; 2 – линза; 3 – окуляр; 4 – светофильтрующая диафрагма;
5 – предметный столик; 6 – винт точной регулировки;
7 – винт грубой регулировки; 8 – фотопластина; 9 – трансформатор

Рисунок 6 – Общий вид металлографического микроскопа МИМ-6

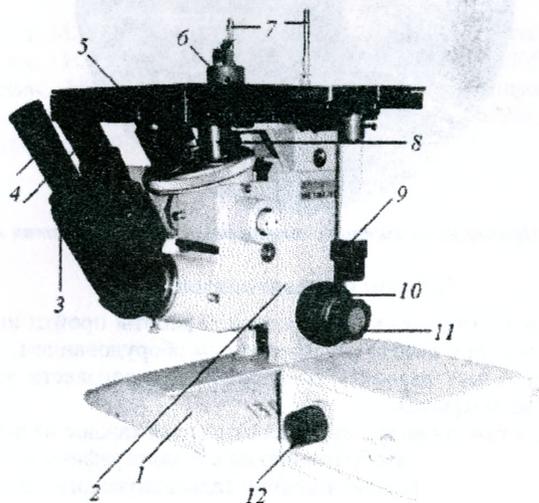
Таблица 1 – Оптические данные объективов

Система	Марка		Собственное увеличение	Фокусное расстояние, мм	Числовая апертура	Свободное расстояние, мм
	Обозначение	Шифр				
Сухие	9×0,20	ОМ-13	×9	18,2	0,20	8,7
	21×0,40	ОМ-8	×21	8,4	0,40	1,9
	40×0,65	ОМ-9	×40	4,6	0,65	0,66

Таблица 2 – Оптические данные окуляров

Наименование окуляров	Шифр	Увеличение	Фокусное расстояние, мм	Примечание
Гюйгенса	АМ-11(с сеткой и шкалой)	×7	36,17	Для визуальных наблюдений
Гюйгенса	М-10	×10	24,76	
Гюйгенса	М-11	×15	16,9	

Зоны размещения покрытия (зона металла, переходная зона, зона непосредственно покрытия) выявляются по изображениям, полученным с помощью металлографического микроскопа мод. МЕТАМ РВ-21. Микроскоп металлографический агрегатный серии ЕС МЕТАМ РВ предназначен для визуального наблюдения микроструктуры металлов, сплавов и других непрозрачных объектов в отраженном свете при прямом освещении в светлом и темном поле, а также для исследования объектов в поляризованном свете и методом дифференциально-интерференционного контраста.



- 1 – основание; 2 – корпус (унифицированный штатив); 3 – бинокулярная насадка;
 4 – окуляры; 5 – предметный столик; 6 – исследуемый образец (микрошлиф);
 7 – клеммы (прижимы); 8 – объектив; 9 – рукоятка перемещения столика;
 10, 11 – ручка регулировки; 12 – регулятор освещенности

Рисунок 7 – Общий вид металлографического микроскопа МЕТАМ РВ-22

Таблица 3 – Технические характеристики МЕТАМ РВ-21

Увеличение микроскопов: ЕС МЕТАМ РВ-21-1 ЕС МЕТАМ РВ-21-2 ЕС МЕТАМ РВ-21-3 (Метам РВ-23)	от 50 до 1000 от 50 до 1000 от 50 до 600
Диапазон перемещения предметного столика, мм: в продольном направлении в поперечном направлении	от 0 до 70 от 100 до 150
Цена деления шкал, мм: предметного столика нонуса механизма микрометрической фокусировки	1 0,10 0,002
Максимальная нагрузка, кг	1
Источник света	Лампа накаливания РН8-20-1
Питание микроскопа от сети	~220 В, 50 Гц
Габаритные размеры, мм	370×290×280

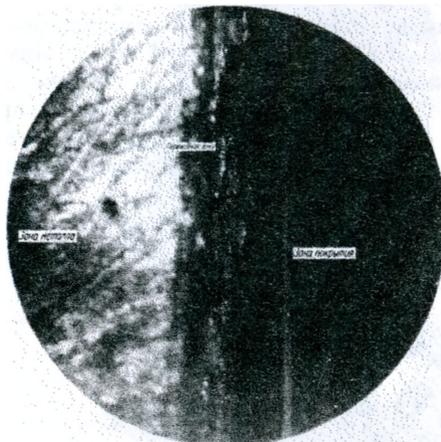


Рисунок 8 – Пример изображения с зонами размещения покрытия хромом

Порядок выполнения работы

1. Перед началом выполнения лабораторной работы пройти инструктаж по технике безопасности при работе с применяемым оборудованием.
2. Получить комплект втулок у преподавателя, произвести эскизирование втулки до нанесения покрытия.
3. Определить, к какому виду покрытия относится каждое из изделий.
4. Согласно полученному изображению на металлографическом микроскопе мод. МИМ-6, определить среднюю толщину гальванического покрытия каждого из изделий.
5. Согласно полученному изображению на металлографическом микроскопе мод. МЕТАМ РВ-21, выявить зоны размещения покрытия (зона металла, переходная зона, зона непосредственно покрытия).
6. С использованием технических весов определить массу каждой из втулок.
7. Произвести измерение твёрдости полученных покрытий.

Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Перечень оборудования, инструментов и принадлежностей.
3. Произвести анализ свойств различного рода покрытий. Описать технологические особенности нанесения гальванических покрытий. Дать характеристику способов измерения толщины исследуемых покрытий.
4. Сделать выводы о плотности исследуемых покрытий согласно теоретическим данным и полученным изображениям с металлографических микроскопов.

Контрольные вопросы

1. Свойства металлических покрытий. Защитные покрытия. Защитно-декоративные покрытия. Износостойкие покрытия.
2. Композиционные электрохимические покрытия.
3. Неметаллические неорганические покрытия.
4. Органические покрытия.
5. Технология нанесения гальванических покрытий.
6. Подготовка поверхности деталей.
7. Нанесение гальванических покрытий.
8. Контроль качества гальванических покрытий. Измерение толщины покрытий.

Список использованных источников

1. Жарский, И.М. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пос. / И.М. Жарский [и др.]. – Мн.: Выш. шк., 2005. – 299 с.
2. Елизаветин, М.А. Технологические способы повышения долговечности машин. Повышение эксплуатационных свойств машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с.

Составители:
Андрей Николаевич Парфиевич
Виктор Александрович Сокол
Юрий Николаевич Саливончик

Методические указания

к лабораторной работе по дисциплине
«Восстановительные технологии»
на тему «**Исследование физико-механических
свойств гальванических покрытий**»
для студентов специальности 1-37 01 07 «Автосервис»

Ответственный за выпуск: Саливончик Ю.Н.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.
Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 25.01.2017 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Perfoform».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,25. Заказ № 1233. Тираж **50** экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.