

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ	5
ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ	
2.1. Источник тока	7
2.2. Аноды для цинкования и серебрения	8
2.3. Гальваническая ванна	9
2.4. Гальваническая цепь	9
2.5. Элементы гальванического карандаша.....	9
ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ	
3.1. Электролит для цинкования	11
3.2. Электролит для серебрения.....	12
ГЛАВА 4. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ	
4.1. Шлифование и полирование.....	14
4.2. Обезжиривание в органических растворителях.....	14
4.3. Химическое обезжиривание.....	14
ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ	15
ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ	
6.1. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на изделие из стали без признаков коррозии (в гальванической ванне)	16
6.2. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на изделие из стали с признаками коррозии (при помощи гальванического карандаша).....	16
6.3. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на оцинкованную жечь с признаками коррозии (при помощи гальванического карандаша).....	17
6.4. Нанесение серебряного покрытия гальваническим способом на изделие из неизвестного металла (в гальванической ванне).....	17
ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ДОМАШНЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ	22

ВВЕДЕНИЕ

Возможность долгосрочного использования изделий из металла и стали находится в зависимости от возможности предотвратить коррозию этих материалов, тем самым, продлить их срок службы.

Коррозия — это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это разрушение любого материала, будь то металл или керамика, дерево или полимер.

При работе с металлическими изделиями человечеству постоянно приходится сталкиваться с ущербом от коррозии, т.е. разрушением металла под действием агрессивных факторов внешней среды [2, с.249]. Металл имеет прочную структуру, но она не спасает его от возможности реагировать при соприкосновении с постоянно имеющимися в окружающей среде кислородом, водой, углекислым газом, другими химически активными соединениями.

Коррозионный процесс портит жизнь людям многие века, поэтому он изучен достаточно широко. Существуют различные классификации коррозии в зависимости от типа окружающей среды, от условия использования корродирующих материалов (находятся ли они под напряжением, если контактируют с другой средой, то постоянно или перемененно и пр.), и от множества других факторов.

Для сохранения металла просто необходимо пользоваться средствами антикоррозийной защиты. В настоящее время существует множество активных, пассивных и конструкционных методов защиты от коррозии. Наиболее эффективным и экономически выгодным активным методом защиты является цинкование, при котором металл покрывается тонким слоем цинка [2, с.249]. Поэтому большинство металлических покрытий в мировой практике являются цинковыми.

Основными причинами, обуславливающими выбор цинковых покрытий для защиты изделий из стали и чугуна, являются относительно невысокая стоимость цинка, а также тот факт, что обладает более электроотрицательным стационарным потенциалом, чем железо (на 0,323 В) [14]. Цинк при воздействии агрессивных сред (в виде электролитов) медленно растворяется за счет электрохимических реакций, защищая тем самым ферритную подложку.

Антикоррозийное цинкование - покрытие цинком стальных и металлических конструкций, позволяющее защитить изделие от коррозии и выпускать качественные прочные изделия. Электролитическое цинкование – наиболее рациональный и экономичный способ, позволяющий в широком диапазоне регулировать толщину и свойства осажденного слоя цинка [5, с.38]. Цинковое покрытие служит тем дольше, чем больше цинка в нем содержится.

Способ нанесения покрытия выбирают в зависимости от условий дальнейшего использования изделия и необходимых свойств защитного слоя. Возможно в одном изделии использование нескольких типов покрытий.

Наше знакомство с основами гальваники и электролиза началось в курсе изучения химии в школе. Нас, тогда еще учащихся 8 класса, заинтересовал вопрос практического применения гальванических процессов в быту. Почти вся изученная нами информация, так или иначе, касалась промышленных способов нанесения гальванических покрытий, или, как вариант, гальваники штучных изделий в рамках гальванического цеха. В то же время дома у каждого есть много металлических изделий, требующих защиты от коррозии: это может быть как новая вещь, так и старая, уже подвергшаяся коррозии вследствие разрушения ранее нанесенных защитных покрытий.

Поиск в интернете показал, что у нас в стране есть достаточно много организаций, занимающихся гальваностегией и гальванопластикой, однако после знакомства с прайс-листами нескольких таких организаций выяснилось, что со штучными заказами они не работают, тем более не берутся за восстановление уже подвергнувшегося коррозии изделия.

Поэтому основная цель нашего исследования – изучение возможности нанесения новых гальванических покрытий Изначально предполагалось наносить цинковое защитное покрытие гальваническим способом.

В ходе реализации поставленной цели решались следующие задачи.

Методы исследования:

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ

В 1833 г. английский физик Майкл Фарадей установил законы электролиза [4, с.4]. Эти его работы положили начало электрохимии. Электрический ток, проходя через жидкость, вызывает ее разложение, т.е. электролиз.

Электролиз — это окислительно-восстановительный процесс, протекающий на электродах при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролитов. Для осуществления электролиза к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока присоединяют катод, а к положительному полюсу — анод, после чего погружают их в электролизер с раствором или расплавом электролита [7].

Электроды, как правило, бывают металлические, но применяются и неметаллические, например графитовые (проводящие ток).

На поверхности электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника постоянного тока (катоде), ионы, молекулы или атомы присоединяют электроны, т. е. протекает реакция электрохимического восстановления. На положительном электроде (аноде) происходит отдача электронов, т. е. реакция окисления. Таким образом, сущность электролиза состоит в том, что на катоде происходит процесс восстановления, а на аноде — процесс окисления.

В результате электролиза на электродах (катоде и аноде) выделяются соответствующие продукты восстановления и окисления, которые в зависимости от

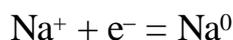
условий могут вступать в реакции с растворителем, материалом электрода и т. п., — это так называемые вторичные процессы.

Металлические аноды могут быть:

а) нерастворимыми или инертными (Pt, Au, Ir, графит или уголь и др.), при электролизе они служат лишь передатчиками электронов;

б) растворимыми (активными); при электролизе они окисляются.

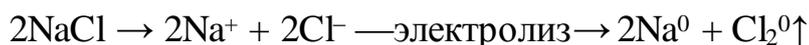
В растворах и расплавах различных электролитов имеются разноименные по знаку ионы, т. е. катионы и анионы, которые находятся в хаотическом движении. Но если в такой расплав электролита, например расплав хлорида натрия NaCl, опустить электроды и пропускать постоянный электрический ток, то катионы Na^+ будут двигаться к катоду, а анионы Cl^- — к аноду. На катоде электролизера происходит процесс восстановления катионов Na^+ электронами внешнего источника тока:



На аноде идет процесс окисления анионов хлора, причем отрыв избыточных электронов от Cl^- осуществляется за счет энергии внешнего источника тока:



Выделяющиеся электронейтральные атомы хлора соединяются между собой, образуя молекулярный хлор: $\text{Cl}^0 + \text{Cl}^0 = \text{Cl}_2$, который и выделяется на аноде. Суммарное уравнение электролиза расплава хлорида натрия:



Если электролизу подвергается расплав, который содержит несколько различных катионов металлов, то в этом случае последовательность восстановления определяется электродными потенциалами металлов в данных условиях. При этом в первую очередь восстанавливаются катионы металлов, обладающих большим значением электродного потенциала.

Окислительно - восстановительное действие электрического тока может быть во много раз сильнее действия химических окислителей и восстановителей. Меняя напряжение на электродах, можно создать почти любой силы окислители и восстановители, которыми являются электроды электролитической ванны или электролизера. Известно, что ни один самый сильный химический окислитель не может отнять у фторид - иона F^- его электрон. Но это осуществимо при электролизе, например, расплава соли CaF_2 . В этом случае на катоде (восстановитель) выделяется из ионного состояния металлический кальций:



На аноде (окислитель) выделяется ион фтора F^- , переходя из отрицательного иона в свободное состояние:



Существуют две разновидности приведенного явления электролиза — гальваностегия, т.е. образование тонкого неотделяемого слоя осадка одного металла на другом под действием электрического тока, и гальванопластика — воспроизведение копий различных предметов за счет металлических отложений, впоследствии отделяемых от основы. Изобретателем гальванотехники, посвященной исследованию возможности металлизации предметов посредством разложения

электрическим током солей различных металлов, является русский ученый Борис Семенович Якоби, брат известного математика Карла Якоби [8]. Уже в 1838 г. в Петербурге он провел первые опыты по гальванопластике. В 1839 г. эти свойства электрического тока Якоби первым использовал для изготовления медных слепков с различных предметов.

Чтобы придать малоценному металлу вид благородного, его покрывают тонким слоем последнего: серебрение и золочение являются очень древней отраслью техники. Способы, какими пользовались прежде, например, для золочения, заключались во втирании тонкого листка золота в неблагородный металл, или растворяли золото в ртути и наносили полученную амальгаму, после чего ртуть испаряли. Оба способа были дороги и сложны, а последний еще и вреден для здоровья вследствие образующихся при нем паров ртути. Для техники покрывания металлом применение действия тока стало крупным шагом вперед, потому что этим значительно облегчилась и упростилась работа, а также появилась возможность подбирать по желанию толщину накладываемого слоя. Кроме того, применение тока позволило вести работу заводским путем, тогда как прежде способы требовали главным образом ручной работы [8].

Вследствие таких выгодных условий покрывание металлами получило широкое распространение, и в настоящее время весьма распространено никелирование, цинкование и хромирование.

ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

2.1. Источник тока

Согласно изученным нами источникам информации, в промышленности для успешного нанесения гальванического покрытия на металлическую основу используется большое число разнообразных источников тока (выпрямителей). В качестве примера можно привести выпрямители серии ZY, которые изготавливаются на основе высоковольтных IGBT-модулей или традиционной тиристорной SCR-технологии [3, с.9]. Разумеется, в бытовых условиях найти такой не представляется возможным.

Из других интернет-источников мы выяснили, что нам потребуется источник постоянного тока с регулируемым напряжением до 12В и регулируемой силой тока до 1А. Поскольку в домашней сети напряжение 220В и ток переменный, мы изучили технические характеристики нескольких наиболее часто применяемых в быту преобразователей:

зарядное устройство для мобильного телефона: 5В; 500мА

блок питания для телевизионной антенны: 12В; 100 мА

блок питания для стационарного компьютера: 3,3-12В; 0,5-20А

зарядное устройство для ноутбука: 19В; 3,16А

блок питания для стереомагнитофона «Россия»: 12В; 800 мА

неизвестное зарядное устройство для детской игрушки: 3,2В, 350 мА

По результатам замеров нами было принято решение использовать в работе преобразователь для стереомагнитофона. Решающими факторами в пользу последнего выступили его довольно высокие рабочие характеристики и ненужность, т.к. сам стереомагнитофон уже давно находится в нерабочем состоянии. Для удобства в работе преобразователь был переделан в подобие зарядного устройства для ноутбука. И, поскольку на выходе этот преобразователь имеет напряжение 12В и силу тока 0,8А, то в рабочей цепи при нанесении гальванического покрытия мы посчитали необходимым использовать реостат. В домашних условиях эту проблему можно решить подбором сопротивлений от старой радиоэлектроники, или включением в цепь регулируемого по длине участка самодельного сопротивления из нихромовой спирали – например, элемента нагрева от старого утюга. Поскольку подбор сопротивлений и изготовление колодки представляет собой довольно трудоемкий, но вполне осуществимый в домашних условиях процесс, и у нас в распоряжении не было ненужной нихромовой проволоки, было принято решение воспользоваться реостатом из школьного кабинета физики.

Мультиметр, применяемый в ходе нашего эксперимента, требовал переключения между режимами измерения напряжения и силы тока, что было не очень удобно, и мы воспользовались лабораторным вольтметром со шкалой 0...12 В и амперметром со шкалой 0...3 А.

2.2. Аноды для цинкования и серебрения

Следующим этапом подготовительной работы стало изготовление анодов для цинкования и для серебрения.

Изучение интернет-ресурсов по теме показало, что в нашей стране можно приобрести цинковые аноды промышленного производства по невысокой цене, и с приобретением их поштучно нет проблем. Однако в исследовании мы стремились максимально снизить стоимость оборудования и реактивов, а самый маленький электрод для цинкования, имеющийся в свободной продаже, имеет массу 1 кг, поэтому от покупки такого электрода мы отказались. Тем более, что чистый металл цинк и в домашних условиях найти довольно просто.

Наиболее часто применяемая в повседневной жизни оцинкованная жесть не в полной мере подходит для создания электрода, поскольку мы не знаем толщины нанесенного на железо слоя цинка и его равномерности. К тому же в процессе растворения анода велика вероятность вместе с цинком растворить еще и железную основу, что приведет к смешиванию металлов и потере защитных свойств цинкового покрытия.

Известно, что гальванический элемент (батарею) можно в принципе изготовить из любых двух металлов [14]. И, как показало изучение соответствующих интернет-ресурсов [16], обычные, так называемые «квадратные» батарейки на 4,5В, имеющие маркировку 3336Л, или аналогичную, представляют собой марганцево-цинковые элементы, и содержат в своем составе цинк, выступающий в качестве того же анода. Еще в конце XX века это была чуть ли не основная

батарея одноразового использования для фонариков, портативных радиоприемников и другой электротехники.

Общая реакция, протекающая в стакане такой батарейки:



Во время разрядки цинковый стакан растворяется. Во избежание вытекания электролита или продуктов реакции цинковый стакан имеет запас по толщине, поэтому даже в старых, севших батарейках, цинк всегда остается. Найти такую старую батарейку не составляет трудности, тем более, что в продаже имеются и новые, и стоимость их совсем небольшая.

Сначала одна, а затем еще несколько батареек были подвергнуты разборке (приложение 1, фото 1). После удаления битума, угольных стержней и сухого электролита, представляющего собой вредную для окружающей среды смесь пиролюзита MnO_2 , графита и хлорида аммония NH_4Cl , выполняющего роль электролита, мы получили пустые цинковые стаканчики.

Электролит и остатки батарейки были уложены в полиэтиленовый пакет и утилизированы через пункт приема отработанных батареек.

Некоторые из полученных нами цинковых стаканов вследствие выработки батареи были уже практически растворившиеся, некоторые в хорошем состоянии. Для удаления остатков электролита и отложений солей внутри цинковые стаканы были тщательно зачищены, промыты и высушены, и из них было изготовлено 2 анода: один плоский, для нанесения цинкового покрытия в гальванической ванне, второй – цилиндрический, для изготовления гальванического карандаша (приложение 1, фото 2). Первый электрод был изготовлен путем механического сплющивания цинкового стакана и припаивания контакта, второй – путем расплавления в фарфоровом тигле и последующего охлаждения расплава в латунной форме. Перед охлаждением расплава в него был помещен медный провод-контакт. Согласно справочным материалам, температура плавления цинка составляет $419,5\text{ }^\circ\text{C}$, поэтому цинк можно легко расплавить на домашней газовой плите, температура которой в верхнем пламени горелки составляет около $1600\text{ }^\circ\text{C}$.

Изготовление серебряного анода предполагает наличие чистого металла серебра. Решить эту проблему удалось при помощи кусочка серебряного лома, который также был расплавлен и охлажден в плоской деревянной форме.

2.3. Гальваническая ванна

Поскольку в процессе нанесения гальванического покрытия происходит разогревание электролита, ванна должна быть термостойкой. Второе условие – ванна должна быть из материала, обладающего свойствами хорошего диэлектрика, устойчивого к действию электролитов [13]. Изначально планировалось использовать обыкновенную тарелку из пищевого полиэтилена, выдерживающую нагрев до температуры кипения воды. В конечном итоге мы использовали небольшую ванну из школьного набора для демонстрации опытов с электролитами. Материал ванны – плексиглас. Ванну также пришлось немного переделать (приложение 1, фото 3).

2.4. Гальваническая цепь

Принципиальная схема цепи [10] для нанесения покрытия гальваническим способом оказалась не сложной (приложение 2, схема 1). Единственное, что мы изменили в общепринятой схеме – включили в цепь автомобильную лампу напряжением 12В, мощностью 5 Вт. Она должна выполнять две функции – сигнальную (гореть вполнакала при нанесении покрытия), и защитную (гореть ярко при коротком замыкании в цепи).

В качестве проводников использовали обычные кабели типа КГ, токопроводящая жила – медная, многопроволочная, изоляционный материал - поливинилхлоридный пластикат.

В качестве клеммы на катоде следовало бы использовать т.н. зажим типа «крокодил», однако за неимением такового мы изготовили свой зажим из бельевой прищепки, алюминиевой пластинки и проводника.

2.5. Элементы гальванического карандаша

Изначально предполагая, что наносить гальваническое покрытие нам придется не только на небольшие металлические предметы, помещаемые в ванну, но и на предметы больших размеров, было принято решение изготовить ручное приспособление, которое мы назвали «гальванический карандаш». В нашем карандаше в качестве сердечника используется цилиндрический цинковый электрод, сердечник помещен в разборный полиэтиленовый тубус, изготовленный из сломанной гимнастической палки. К контакту сердечника-электрода припаян проводник, имеющий жесткое крепление на выходе из тубуса и достаточную длину для подключения к источнику тока или к элементам цепи (приложение 2, схема 2).

В первоначальной модели гальванического карандаша непосредственно в полиэтиленовый тубус мы встроили миниатюрную лампу-индикатор на 12 В. Однако лампа быстро перегорела, и другую, такую или аналогичную, в короткое время найти не удалось. Поэтому было принято решение не делать лампу встроенной в гальванический карандаш, а включить ее в цепь отдельным элементом.

Для установления контакта между сердечником-анодом карандаша и металлическим изделием-катодом предполагалось использовать кусочек войлока, на который перед началом работы при помощи пипетки наносился электролит. Однако в ходе первых опытов нанесения покрытия выяснилось, что войлок при движении карандаша по поверхности оставляет свои частицы на металле. Чтобы не допустить этого, в дальнейшем мы использовали обычную губку для мытья посуды, вырезав из нее требуемую часть, которую также предполагалось перед работой смачивать электролитом посредством пипетки, или просто обмакнув губку в электролит (приложение 1, фото 4).

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ

3.1. Электролит для цинкования

Во многих интернет-источниках описываются различные составы электролитов для цинкования или серебрения, но все они, как правило, предполагают нанесение таких покрытий промышленным способом, поскольку в приготовлении используются реактивы, практически недоступные в домашних условиях. Так, для гальванического цинкования применяется в основном сернокислый электролит [11], предложенный советским профессором В.Н. Кудрявцевым (приложение 3, электролит № 1)

Назначение сернокислого алюминия (или квасцов) в таком электролите состоит в том, чтобы автоматически поддерживать кислотность электролита в пределах $\text{pH} = 3,5 - 4,5$. Этот показатель отражает оптимальную кислотность среды, требуемую для нормальной работы сернокислого цинкового электролита [5, с.69].

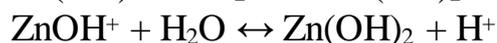
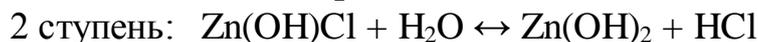
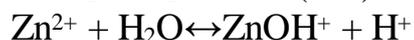
Мы решили приготовить свой электролит из тех химических материалов, которые находятся в свободной продаже, или которые не сложно получить самому. Основной подходящий нам электролит, ранее имевшийся в свободной продаже в хозяйственных магазинах, называется «паяльная кислота», и представляет собой раствор хлорида цинка, полученный по реакции цинка с соляной (хлороводородной) кислотой:



Теперь паяльной кислоты в продаже нет, и мы сделали ее сами. Исходное вещество, концентрированную соляную кислоту, можно найти у слесарей-водопроводчиков – с ее помощью они очищают от накипи трубки калориферов газовых котлов и колонок. Для реакции понадобились кусочки цинка, оставшиеся после изготовления электродов. Раствор готовили, как указано в источнике [12], из расчета 412 г/л. На 250 г. раствора хлорида цинка нам понадобилось четверть - 103 г.

Добавление цинка маленькими порциями велось до тех пор, пока не прекратилось выделение пузырьков водорода. Реакция проводилась в вытяжном шкафу с соблюдением необходимых при работе с водородом и кислотами мер безопасности.

Следующий этап – создание вышеуказанного показателя рН раствора. Как указывалось выше, рН = 3,5 – 4,5. Проблема в том, что соль ZnCl_2 образована слабым основанием и сильной кислотой, и поэтому в водных растворах подвергается гидролизу:



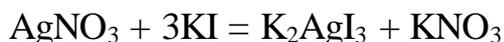
Чтобы сместить равновесие влево, раствор должен иметь слабокислую среду. Т.к. в домашних условиях изготовить рН-метр довольно сложно, мы использовали универсальную индикаторную бумагу из школьного химического набора (приложение 1, фото 5). Корректировка показателя рН велось путем добавления очень небольшого количества хлороводородной кислоты.

3.2. Электролит для серебрения

Как выяснилось при изучении специальной литературы [6, с.182-183] и материалов интернет-ресурсов [15], для электрохимического серебрения применяются только комплексные электролиты, т.к. в простых растворах серебро вытесняется менее благородными, но более активными металлами, и в результате образуются непрочные покрытия.

Среди множества существующих электролитов [6, с.182-183] мы выбрали только два, которые можно приготовить в домашних условиях (приложение 3, электролиты №2, №3).

Однако позже выяснилось, что для небольшого объема работ, который мы как раз и планировали, можно пользоваться йодистым электролитом серебрения. В этом растворе серебро находится в виде комплексной соли трииодаргентата калия K_2AgI_3 , получающейся растворением нитрата серебра AgNO_3 в концентрированном растворе иодида калия KI по следующему уравнению:



Такой электролит оказался относительно прост в приготовлении, не требует кипячения и фильтрации, и практически не имеет потерь серебра. Покры-

тия, получаемые из этого электролита, мелкокристаллические, светлые, с желтоватым оттенком, что практически не влияет на его физико-механические свойства.

Для приготовления 1 л. такого электролита необходимо:

1. 230-300 гр. иодида калия;
2. 15 - 20 гр. серебра;
3. 80 - 100 мл. азотной кислоты;
4. некоторое количество щелочи, для регенерации раствора.

Для приготовления 100 мл. такого электролита требовались массы веществ в 10 раз меньшие.

Нитрат серебра мы приготовили самостоятельно путем растворения кусочка серебра (3 г.) в 80%-ом растворе азотной кислоты. При растворении в концентрированной кислоте процесс происходит быстрее, но при этом выделяется ядовитый газ (бурый газ NO_2), и проводить растворение надо в вытяжном шкафу или на улице:



Иодид калия в свободной продаже в аптеке имеется только в виде 2%-го раствора глазных капель. Можно встретить предложения оптовой продажи этого вещества, применяемого как добавка в комплексные удобрения. Такого вещества требовалось немного, поэтому требуемый раствор также приготовили самостоятельно путем взаимодействия 5%-й спиртовой настойки иода с твердым гидроксидом калия по реакции:



По рецепту электролита, нам требовалось около 50 мл. 30%-ого раствора KI. 5 пузырьков по 10 мл. дают 50 мл. 5%-ой иодной настойки, т.е. в 50 мл. – около 2,5 г. I_2 .

$$n = m/M; M(\text{I}_2) = 254 \text{ г/моль}; n(\text{I}_2) = 2,5/254 = 0,01 \text{ моль.}$$

По уравнению на 6 моль KOH требуется 3 моль I_2 (соотношение 2 : 1), значит 0,01 моль I_2 потребует 0,02 моль KOH.

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}; m(\text{KOH}) = 0,02 \cdot 56 = 1,12 \text{ г.}$$

Таким образом, для полного превращения I_2 в KI потребовалось 1,12 г. твердого KOH, взятого в школьной химической лаборатории.

После проведения добавления KOH и обесцвечивания иодной настойки мы получили:

по уравнению из 6 моль KOH образуется 5 моль KI (соотношение 1,2 : 1), т.е. из 0,02 моль KOH образуется 0,017 моль KI.

$$M(\text{KI}) = 166 \text{ г/моль}; m(\text{KI}) = 166 \cdot 0,017 = 2,82 \text{ г.}$$

Значит, в 51,12 г. раствора – 2,82 г. KI; в 100 г. раствора – X г. KI

$$X = 100 \cdot 2,82 / 51,12 = 5,52 \text{ г.}, \text{ т.е. получен 51 г. 5,52\%-го раствора KI.}$$

Таким образом, полученный раствор имеет массовую долю KI практически в 6 раз меньшую, чем требуемая. Соответственно, нитрата серебра также потребовалось в 6 раз меньшее количество.

В полученный раствор KI при интенсивном непрерывном помешивании тонкой струей мы добавили шестую часть раствора AgNO_3 . Раствор был отфиль-

трован через бумажный фильтр, и затем добавлена вода до 100 мл. Для приготовления растворов требуется использовать дистиллированную воду. Мы, за неимением дистиллированной, использовали фильтрованную кипяченую воду.

ГЛАВА 4. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

Одной из задач нашего исследования является изучение возможности нанесения защитного гальванического покрытия на железные предметы как без признаков коррозии, так и с видимыми признаками коррозии. Для эксперимента были отобраны 4 образца:

1. Стальной предмет без признаков коррозии.
2. Стальной предмет с признаками коррозии.
3. Оцинкованная жесть с признаками коррозии (приложение 1, фото 6).
4. Посеребренные ювелирные изделия из неизвестного металла с признаками истирания серебряного покрытия.

4.1. Шлифование и полирование

В промышленности детали, поступающие в гальванический цех для нанесения покрытий, почти всегда имеют поверхностные дефекты. Для их устранения и получения гладкой, ровной поверхности, перед нанесением гальванических покрытий изделия подвергаются шлифованию и полированию. Для этого применяют шлифовочные станки, снабженные шлифовальными или полировальными кругами, или шлифовальными лентами [9].

В нашем случае шлифование предметов из железа проводилось обычной углошлифовальной машинкой с одним шлифовальным диском (приложение 1, фото 7). Ювелирные изделия не шлифовались.

Полирование не проводилось вследствие отсутствия специальных полировальных дисков и паст.

4.2. Обезжиривание в органических растворителях

В настоящее время широко применяются негорючие растворители – тетрахлорэтан, трихлорэтилен и другие хлорированные углеводороды. В нашем распоряжении не было подобных растворителей, поэтому обезжиривание проводилось бензином марки АИ-95.

4.3. Химическое обезжиривание

Обработка в органических растворителях не обеспечивает полного удаления загрязнений. Кроме того, не всегда есть условия (оборудование, помещение, материалы) для ее проведения. Поэтому в промышленности применяется химическое обезжиривание в щелочных растворах, которые превращают органические жиры в мыла, легко смываемые водой. Для очистки от минеральных масел в растворы добавляют эмульгаторы [4, с.40].

В нашем исследовании химическому обезжириванию подверглись только ювелирные изделия. В качестве активного щелочного раствора нами использовалось средство для мытья посуды.

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

Основными параметрами, характеризующими процесс нанесения гальванического покрытия, являются напряжение в гальванической ванне, сила тока в гальванической ванне, плотность тока [4, с.4, 11-12].

Напряжение в ванне представляет собой сумму разности стандартных электродных потенциалов металлов анода и катода (E_a и E_k), падения напряжения при преодолении сопротивления раствора E_Ω с учетом потерь напряжения на контактах $E_{ПР}$:

$$U = E_\Omega + (E_a - E_k) + E_{ПР}$$

Последняя величина ($E_{ПР}$) представляет собой значение в пределах 5-10% от суммы сопротивления раствора и разности стандартных электродных потенциалов металлов анода и катода.

Сила тока представляет собой отношение приложенного напряжения (U) к сопротивлению ванны (R), выражается в амперах (A):

$$I = U/R$$

По площади покрываемого изделия вычисляют плотность тока. Плотность тока представляет собой отношение силы тока (I) к площади электрода (S), находящегося в электролите. Величина выражается в $A/дм^2$ или $A/см^2$:

$$J = I/S$$

Если при гальваническом покрытии применить высокие плотности тока (выше рассчитанного), то процесс ускоряется. Но при этом на покрытии будут образовываться большие кристаллы, оно будет рыхлым и пористым.

Сила тока в гальванической ванне равна плотности тока (J), умноженной на суммарную поверхность всех деталей (S), загруженных в ванну:

$$I_b = J \sum S$$

Для расчета силы тока в ванне необходимо знать площадь покрываемых изделий и плотность тока, требуемой для получения покрытия.

Мы рассчитали все основные параметры для металлического изделия без признаков коррозии.

Исходные показатели:

Катод (стальная пластина): $a = 3$ см., $b = 5$ см.; $S = ab = 3 \cdot 5 = 15$ см²

Анод (цинковая пластина): $a = 1,7$ см., $b = 4,3$ см.; $S = ab = 1,7 \cdot 4,3 = 7,31$ см²

Ω раствора электролита: 8 Ом

Расчеты по показателям:

1. Напряжение в гальванической ванне: $U = E_{\Omega} + (E_a - E_k) + E_{\text{ПР}}$
 $E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,763$ В
 $E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44$ В
 $E_{\text{ПР}} = (E_{\Omega} + (E_a - E_k)) \cdot 0,08 = (8 + (-0,763 - (-0,44))) \cdot 0,08 = 0,614$ В
 $U = (8 + (-0,763 - (-0,44))) + 0,614 = 8,29$ В
2. Сила тока: $I = U/R$; $I = 8,29/8 = 1,036$ А
3. Плотность тока: $J = I/S$; $J = 1,036/15 = 0,07$ А/см²
4. Сила тока в гальванической ванне: $I_b = J \sum S$; $I_b = 0,07 \cdot (7,31 + 15) = 1,56$ А

ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ

6.1. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на изделие из стали без признаков коррозии (в гальванической ванне)

Электролит: раствор хлорида цинка, pH = 3 – 4

Анод: Zn; катод: Fe

Площадь нанесения: 15 см²

Температура электролита: 19,4 °С

Измеренная сила тока: 0,3 А (макс. 1,036 А)

Плотность тока: $J = I/S = 0,3/15 = 0,02$ А/см²

Измеренное напряжение: 5,6 В (макс. 8,29 В)

Время нанесения: 30 мин.

Процесс на аноде: $\text{Zn}^0 - 2e^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$; процесс на катоде: $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}^0$.

Стальной катод и цинковый анод одновременно погружались в ванну с электролитом при уже включенном источнике тока (приложение 1, фото 8). Сразу после установления контакта автомобильная лампа 12В, 5Вт ярко загорелась, вольтметр показал напряжение в цепи 0,3В при силе тока 0,25 А. Это указывало на значительную разность сопротивлений раствора электролита и спирали лампы. Оба сопротивления были измерены мультиметром, и составили 8

Ом и 6 Ом соответственно. Чтобы избежать этого, автомобильная лампа была заменена на аналогичную, но с другими характеристиками – 12В, 21 Вт.

После замены лампы напряжение в цепи установилось в пределах 6В при силе тока 0,36А, реостатом отрегулировано до 5,6 В, 0,3А (приложение 1, фото 9).

В процессе нанесения покрытия наблюдалось выделение пузырьков водорода на покрываемой поверхности [4, с.6], поэтому деталь приходилось несколько раз доставать из электролита для удаления газов.

После нанесения гальванического покрытия изделие было промыто, высушено. На вид покрытие равномерное, матовое, серого цвета, граница покрытия четко видна (приложение 1, фото 10).

Для контроля защитных свойств нанесенного цинкового покрытия обработанная пластинка была помещена во влажные, теплые условия, моделирующие окружающую среду.

6.2. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на изделие из стали с признаками коррозии (при помощи гальванического карандаша)

Электролит: раствор хлорида цинка, pH 3 – 4

Анод: Zn; катод: Fe

Площадь нанесения: 26,52 см²

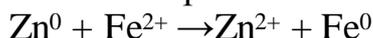
Измеренная сила тока: 0,2А

Время нанесения: 10 мин.

Процесс на аноде: $Zn^0 - 2e^- \rightarrow Zn^{2+}$; процесс на катоде: $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn^0$.

Согласно информации школьного учебника [1, с.180; 2, с.251], атомы Zn⁰, при попадании в контакт с окисленной формой железа Fe²⁺, способны восстановить окисленную форму до Fe⁰, т.к. стандартные электродные потенциалы металлов соответственно: $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0,763В$; $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44В$.

Процесс восстановления железа протекает по схеме:



Поскольку при шлифовке у нас не получилось удалить все очаги коррозии, мы решили выяснить, верна ли вышеуказанная информация. Поэтому изделие было оцинковано при помощи гальванического карандаша в виде «как есть» (приложение 1, фото 11). После нанесения гальванического покрытия изделие было промыто, высушено. На вид покрытие равномерное, матовое, серого цвета, граница покрытия четко видна (приложение 1, фото 10). Изделие также помещено в условия моделирования окружающей среды.

6.3. Нанесение цинкового покрытия гальваническим способом на оцинкованную жечь с признаками коррозии (при помощи гальванического карандаша)

Электролит: раствор хлорида цинка, pH 3 – 4

Анод: Zn, катод: Fe

Площадь нанесения: 73,5 см²

Измеренная сила тока: 0,3А

Время нанесения: 5 мин.

Процесс на аноде: $Zn^0 - 2e^- \rightarrow Zn^{2+}$; процесс на катоде: $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn^0$.

Процесс восстановления цинкового покрытия аналогичен нанесению нового: жесть была механически обработана от налета ржавчины, обезжирена и на нее нанесено новое покрытие при помощи гальванического карандаша. После нанесения гальванического покрытия изделие было промыто, высушено. На вид покрытие равномерное, матовое, серого цвета, граница покрытия видна не четко. Изделие также помещено в условия моделирования окружающей среды.

6.4. Нанесение серебряного покрытия гальваническим способом на изделие из неизвестного металла (в гальванической ванне)

К кольцу из неизвестного металла мы подключили контактный провод и опустили в электролит. Напряжение в цепи 5В, сила тока 0,1А. В качестве второго электрода мы использовали медную пластинку. На ней должен выделяться иод, и, чтобы его превратить обратно в комплексную соль трииодаргентат калия, в раствор добавили немного щелочи КОН. В этом случае желтое окрашивание должно практически исчезнуть.

Оба электрода одновременно опустили в раствор электролита при уже включенном источнике тока.

В результате на поверхности кольца выделилось серебро, но не тонким прочным слоем, как предполагалось, а рыхлым и непрочным. Попытки менять концентрацию раствора электролита, добавление или уменьшение силы тока и напряжения к успеху не привели.

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ДОМАШНЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Затраты на создание модели домашней гальванической установки:

1. цинковый анод – бесплатно (в случае покупки – 60.000 BRB/1 кг.);
 2. серебряный анод – 6640 BRB/1 г. (в нашем случае 3 г.);
 3. преобразователь тока – бесплатно (в случае покупки – от 20 у.е.);
 4. электролит для цинкования – бесплатно (при покупке паяльной кислоты – от 18.000 BRB/100 мл.);
 5. электролит для серебрения – бесплатно (при покупке готового электролита – от 50.000 BRB/100 мл.)
 6. автомобильная лампа – б/у 5.000 БРБ (в случае покупки – от 26.000 BRB);
 7. гальванический карандаш (составляющие) – 790 BRB;
 8. энергозатраты – минимальны, не учитывались;
 9. проводники, клеммы – бесплатно.
- Итого: 25.710 BRB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе реализации поставленной цели – изучения возможности нанесения гальванических покрытий в домашних условиях – после подготовительного этапа успешно разработана и создана действующая модель гальванической установки «гальванический карандаш», подобраны и приготовлены электролиты для цинкования и серебрения в домашних условиях, проведены расчеты, связанные с нанесением подобного рода покрытий. В ходе реализации практических мероприятий при помощи «гальванического карандаша» и в гальванической ванне на металлические поверхности, подвергнувшиеся разной степени коррозии, обработанные и подготовленные в соответствии с требованиями, было успешно нанесено цинковое защитное покрытие.