



МИНИСТЕРСТВО И НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФАКУЛЬТЕТ «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ»
КАФЕДРА «ФИЗИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

КОРРОЗИЯ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ

Сборник методических указаний к лабораторному
практикуму

Ростов-на-Дону. 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа №1.	
КИСЛОТНАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ.....	3
Лабораторная работа № 2.	
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ С ВОДОРОДНОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ.....	6
Лабораторная работа № 3.	
КОРРОЗИОННЫЕ ПАРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ АЭРАЦИИ.....	9
Лабораторная работа № 4.	
АНОДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	15
Лабораторная работа № 5.	
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ.....	19
Лабораторная работа № 6.	
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ЦИНКОВАНИЕ.....	25
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1.....	32
Приложение 2.....	33
Приложение 3.....	34
Приложение 4.....	35
Приложение 5.....	36

Лабораторная работа № 1

КИСЛОТНАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: исследование влияния различных факторов на скорость коррозии металлов в растворах кислот.

Приборы и реактивы: весы аналитические; рН-метр; штангенциркуль; термометр на 100°C; щетка; шесть образцов из стали Ст.3 или Ст.20; шесть стаканов на 100 мл; растворы серной или соляной кислоты 0,1 н или 1,0 н (н – нормальность раствора); ацетон; фильтровальная и наждачная бумага; секундомер; магнитная мешалка.

Ход работы

Природа кислоты, ее концентрация, температура, перемешивание, наличие растворенных примесей или газов оказывают существенное влияние на скорость коррозии металлов. В неокислительных кислотах коррозия металлов протекает с водородной деполяризацией.

В три стакана наливают одной кислоты с известной концентрацией, в три других – другой кислоты. Везде объем кислоты по 100 мл. Шесть замаркированных образцов в виде пластин с отверстиями для подвешивания зачищают наждачной бумагой до равномерного блеска и измеряют штангенциркулем их размеры. Поверхность образцов обезжиривают, протирая фильтровальной бумагой, смоченной ацетоном, сушат на воздухе 10-15 минут и взвешивают на аналитических весах.

Подвешивают одновременно образцы в стаканы с кислотой на стеклянных или пластмассовых крючках и засекают время. По истечении времени, указанного преподавателем (обычно 1,5–2,5 часа), извлекают из раствора. все образцы, промывают щеткой под струей, теплой водопроводной, воды, протирают ацетоном, высушивают 15 минут и взвешивают.

Все данные сводят в таблицу.

Коррозионная среда	
Время опыта t, ч	
Температура, °C	
Материал образцов	
Номер образца	
Размеры образца, мм	
Поверхность образца S, м ²	
Начальная масса образца m ₀ , г	
Конечная масса образца m ₁ , г	
Убыль массы, Δm, г	
Массовый показатель коррозии, г/м ² ·ч	
Среднее значение массового показателя коррозии, г/м ² ·ч	

Выливают растворы в бутылъ для слива кислот и моют стаканы.

Рассчитывают для каждого образца массовый показатель коррозии по формуле

$$\rho = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где Δm - убыль массы; S - площадь образца, м²; τ - время опыта, ч.

Находят среднее значение массового показателя коррозии для каждой кислоты, сделав пересчет на глубинный показатель коррозии (см. работа № 3, формула (6)), находят (по приложению 1) балл и группу стойкости. Делают вывод о влиянии природы кислоты на скорость коррозии.

Возможны варианты этой работы: изучить влияние перемешивания, температуры, концентрации одной и той же кислоты на один и тот же металл или этих же факторов на разные металлы и сплавы.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства металла могут меняться при растворении в кислоте?
2. Укажите возможные продукты коррозии в водных растворах кислот.
3. Какие вещества могут быть катодными деполяризаторами?
4. Какое влияние на скорость коррозии могут оказывать окислители или восстановители, присутствующие в виде примесей в кислоте?

Лабораторная работа № 2 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ С ВОДОРОДНОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Цель работы: определение скорости коррозии металлов или сплавов по потере массы и по объему выделившегося водорода, сопоставление результатов.

Приборы и реактивы: склянки с нижним тубусом и краном; цилиндры мерные - 2 шт.; пробки резиновые с диэлектрическими крючками - 2 шт.; шкурка наждачная; образцы металлов и сплавов, например, сталь Ст.3, цинк Ц-0, алюминий АМг-6 и др.; штангенциркуль; серная или азотная кислота 0,1-0,7 М; гидроксид калия 0,5 М (М – молярная масса).

Ход работы

Скорость коррозии можно определить различными методами – гравиметрически (по убыли массы), электрохимически (по поляризационному сопротивлению, по поляризационным кривым). Скорость коррозии можно установить и объемным методом, если в процессе коррозии идет выделение или поглощение газа. Точность этого метода в ряде случаев выше, чем при определении убыли массы.

Электрохимическая коррозия характерна для проводящих сред и протекает при наличии на поверхности металла

пространственно разделенных катодных и анодных участков. Катодные участки возникают на более электроположительных примесях, структурных составляющих сплавов. Иногда образуются микрогальванические пары вследствие неоднородности внешней среды (дифференциальная аэрация, неодинаковое облучение разных участков). Но даже и на совершенно электрохимически однородной поверхности может протекать коррозия в присутствии «чужеродных» ионов в растворе, когда нарушается баланс по веществу данного вида (ионам корродирующего металла). В таком случае разрушение металла можно представить себе как реакцию электрохимического обмена между металлом и раствором (например, замещение металлического цинка ионами меди из раствора).

В случае водородной деполяризации скорость коррозии определяется в основном перенапряжением водорода. Интенсивность процесса будет зависеть от природы катодных участков, температуры, состава и pH среды. Коррозия с водородной деполяризацией характерна для металлов более отрицательных, чем водород, и протекает в кислых средах, однако активные металлы, такие как магний, алюминий, корродируют таким же образом в нейтральных и щелочных средах.

В неокислительных кислотах (HCl , H_2SO_4 конц.) черные металлы корродируют преимущественно при анодном контроле. В этих условиях катодные примеси увеличивают анодную поляризацию и облегчают пассивацию металла. Например, чугун, имеющий больше углерода в виде графитных включений (катодные включения), пассивируется легче стали.

Если на примеси высокое перенапряжение водорода (например, на свинце), то коррозия замедляется. Так, цинк с примесью свинца корродирует медленнее, чем цинк с таким же количеством примеси меди (на меди низкое перенапряжение водорода). С увеличением площади катодных участков скорость коррозии

возрастает, так как снижается перенапряжение водорода.

Работу выполняют следующим образом: в склянки с нижним тубусом (1) при закрытом кране (2) наливают по 250-300 мл коррозионной среды (3) – азотной кислоты 0,7 М или другого раствора. Склянки с раствором располагают так, чтобы концы трубок кранов были опущены в мерные цилиндры (см. рисунок).

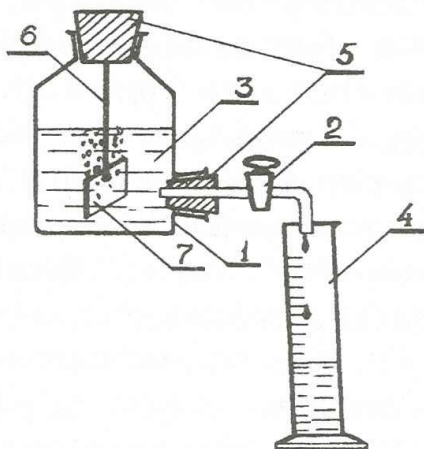


Схема установки:

- 1 - склянка с нижним тубусом; 2 - кран;
- 3 - коррозионная среда;
- 4 - мерный цилиндр;
- 5 - пробка резиновая;
- 6 - диэлектрический крючок; 7 – образец.

Два образца металла или сплава (7) (например, цинк Ц-0 и алюминия АМг-6) зачищают до равномерного блеска шкуркой. Измеряют с помощью штангенциркуля площадь поверхности каждого образца. Образцы обезжиривают ацетоном, высушивают на воздухе и взвешивают на аналитических весах. Затем подвешивают образцы (7) на диэлектрические коррозионные крючки (6), укрепленные в резиновых пробках (5). Пробки с образцами аккуратно вставляют в горлышко склянок (1) так, чтобы образцы полностью погрузились в агрессивный раствор. Плотнo вставляют пробку в горлышко склянки и одновременно (!!!) очень быстро открывают кран (2), при этом агрессивная жидкость (3) начинает вытекать в цилиндр (4). Объем вытекшей жидкости

отмечают каждые 5 минут. Данные заносят в таблицу, причем из первого объема через 5 минут необходимо выцесть 3 мл – это объем жидкости, вытекающей в холостом опыте (без выделения газа):

τ, мин	5	10	30	45	60
V, мл					

После окончания опыта сливают агрессивную жидкость обратно в исходную емкость, т.к. растворы могут быть использованы многократно. Скланку (1) промывают водопроводной водой.

Образцы промывают водой под краном, снимая щеткой продукты коррозии, протирают ацетоном, высушивают на воздухе 10-15 минут и взвешивают. Рассчитывают объемный показатель коррозии K_v по формуле (1), пересчитывают его на массовый показатель ρ_v по формуле (2), затем рассчитывают массовый показатель ρ_m по формуле (3). Сравнивают результаты расчетов по формулам(2) и (3), т.е. ρ_v и ρ_m . Строят графики в координатах: объем водорода–время. Делают выводы.

$$K_v = 760 \cdot \frac{V \cdot 273 \cdot (P - P_{H_2O})}{T \cdot \tau \cdot S \cdot 760} \text{ [см}^3\text{/см}^2\text{·ч]} \quad (1)$$

где P - атмосферное давление, мм рт. ст.; P_{H_2O} - упругость паров воды при температуре опыта, мм рт. ст.; V - объем выделившегося водорода, мл; S - площадь поверхности образца, см²; τ - время опыта, ч; T - температура, К.

$$\rho_v = K_v \cdot \frac{2 \cdot A \cdot 10^4}{22429 \cdot n} \text{ [г/м}^2\text{·ч]} \quad (2)$$

где A - атомная масса металла; n - число электронов, теряемых металлом.

$$\rho_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau} \text{ [г/м}^2\cdot\text{ч]} \quad (3)$$

где m_1 - масса образца до опыта; m_2 - масса образца после опыта, г;
 S - площадь поверхности образца, см²; τ - время опыта, ч.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на величину перенапряжения водорода?
2. В каких случаях преобладает коррозия с водородной деполяризацией?
3. В каких случаях результаты, рассчитанные по формулам (2) и (3), могут значительно отличаться?

Лабораторная работа № 3 КОРРОЗИОННЫЕ ПАРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ АЭРАЦИИ

Цель работы: изучить влияние неодинакового доступа воздуха на скорость коррозии в нейтральной среде.

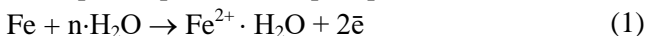
Приборы и реактивы: пластинка из кровельного железа размерами 30×30 мм (3 шт.) и 100×40 мм (2 шт.); магнитная мешалка; стаканы химические на 200 мл - 2 шт.; ванна из оргстекла с диафрагмой и трубкой для подвода воздуха; микрокомпрессор воздушный; микроамперметр М 906; провода с клеммами и зажимами «крокодил» - 2 шт.; раствор NaCl 3%-ный; смесь 5 мл 3%-ного $K_3Fe(CN)_3$ и трех капель раствора фенолфталеина в капельнице; ацетон или содовый раствор для обезжиривания; фильтровальная бумага.

Ход работы

При выполнении данной работы необходимо учесть, что коррозия металлов в электролитах является результатом работы многочисленных микроскопических короткозамкнутых гальванических элементов на их поверхности. Микроэлементы возникают вследствие разности потенциалов между отдельными участками поверхности металла из-за различного их состояния

(степень пассивности) или структурной неоднородности. Различие в составе электролита, соприкасающегося с металлом, например, разная концентрация растворенных солей и газов, а также различная скорость движения электролита тоже может вызвать возникновение разности потенциалов. Наконец, имеется еще один вид гальванических пар, часто встречаемый в практике. Это так называемые пары дифференциальной аэрации. Они возникают в том случае, когда металл (или металлическое изделие) подвергается неравномерному воздействию кислорода воздуха. Поверхность металла, к которой проникает больше кислорода, становится катодом. Роль анода выполняет часть поверхности, менее доступная кислороду. Это является следствием изменения величины электродного потенциала металла при действии кислорода. Например, потенциал железа в нейтральной среде резко сдвигается в положительную сторону при увеличении концентрации кислорода в растворе. При этом повышается устойчивость защитной катодной пленки на поверхности железа. Между катодным (избыток кислорода) и анодным (недостаток кислорода) участками поверхности возникает ток и начинается коррозия анодного участка в результате работы электрохимической пары дифференциальной аэрации.

Анодные участки, имеющие более электроотрицательный потенциал, начинают активно растворяться. Атомы железа под действием возникающего тока и гидратирующего влияния молекул воды переходят в раствор в виде гидратированных ионов:



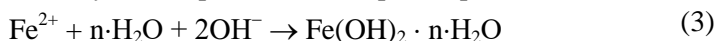
Освободившиеся электроны переходят на более электроположительные катодные участки (на запассивированную поверхность железа). Этот избыток электронов на катодной поверхности приводит к сдвигу ее потенциала в отрицательную сторону, возникает катодная поляризация.

В нейтральной коррозионной среде (растворы солей типа

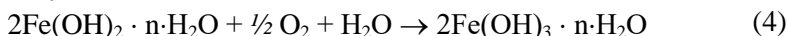
NaCl, K₂SO₄ и т.д.) концентрация ионов водорода слишком мала, чтобы они могли полностью выполнить роль деполяризатора. Поэтому в таких средах в роли деполяризатора выступает растворенный кислород воздуха:



Образующиеся ионы OH⁻, являясь переносчиками тока в растворе, передвигаются к анодным участкам поверхности, где взаимодействуют с перешедшими в раствор ионами железа:



Образуется гидроксид железа (II) – соединение белого цвета, нерастворимое в воде. В присутствии растворенного кислорода воздуха идет дальнейшее окисление:



Гидроксид железа (III) также не растворим в воде, бурого цвета. Смесь продуктов реакций (3) и (4) и составляет основную массу ржавчины.

Из уравнений реакций (3) и (4) следует, что коррозионная среда остается нейтральной. Поэтому такой процесс коррозии (при постоянстве других факторов) протекает обычно с определенной, почти постоянной скоростью.

Изменение скорости поступления кислорода к поверхности металла на практике чаще всего наблюдается в двух случаях:

1) меняется скорость протекания электролита возле поверхности изделия (раствор в трубопроводе, лопасти винта или насоса в воде);

2) изменяется количество кислорода, поступающего к различным частям работающей конструкции (сваи, выступающие из морской воды; резервуары, выступающие из влажной почвы и т.д.).

Если поверхность металла разрушается более или менее равномерно, то скорость коррозии может быть количественно оценена массовым показателем коррозии ρ [г/м²·ч], равным по

массе металлу, превращенному в продукты коррозии за единицу времени с единицы поверхности:

$$\rho = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \quad (5)$$

где Δm - убыль массы металла, г; S - площадь образца, м²; τ - время испытания, ч.

В ряде случаев (трубопроводы, резервуары) более полезен глубинный показатель коррозионного разрушения в металле за единицу времени (обычно год). Пересчет массового показателя на глубинный (мм/год) производят по формуле

$$\Pi = 8,76 \cdot \rho / d \quad (6)$$

где d - плотность металла, г/см³.

Если измеряют величину коррозионного тока (в случае электрохимической коррозии), то на основании закона Фарадея также можно рассчитать массовый показатель коррозии.

Поскольку 1 Фарадей электричества (96500 Кл/моль или 26,8 А·ч/моль) растворяет на аноде 1 грамм-эквивалент металла, то массовый показатель можно выразить так:

$$\rho = \frac{M_{\text{э}} \cdot I_{\text{корр}}}{26,8 \cdot S} \quad (7)$$

где $M_{\text{э}}$ - масса эквивалента металла, г/моль; S - площадь поверхности образца, м²; $I_{\text{корр}}$ - величина коррозионного тока, А.

Из формулы (7) следует, что величина ($I_{\text{корр}} / S$) является плотностью коррозионного тока (А/м²) на аноде, от которой скорость коррозии находится в прямой зависимости.

В коррозионных процессах с кислородной деполяризацией контролирующими факторами являются концентрация кислорода в растворе и скорость диффузии его атомов к катодной поверхности. Первый фактор дает объяснение таких явлений, когда коррозия минимальна и вовсе прекращается, если перекрыть доступ кислорода из воздуха в коррозионную среду. Второй фактор

касается кинетики катодного процесса. Известно, что в ходе катодной реакции (2) возникает перенапряжение при взаимодействии атомов кислорода с электронами. Однако величина этого перенапряжения сравнительно невелика, если учесть влияние диффузии кислорода на процесс в целом. Величина коррозионного тока сильно зависит от изменения скорости подачи кислорода к поверхности металла. Кроме того, приток кислорода ведет к пассивации катодных участков, увеличивается э.д.с. коррозионных элементов. Поскольку сопротивление раствора практически не меняется, то коррозионный ток возрастает.

Задание 1. Качественная реакция.

Зачистить до равномерного блеска поверхность стальной пластинки шкуркой, обезжирить ацетоном, содой или меловой кашицей, промыть теплой водой и высушить фильтровальной бумагой, не касаясь пальцами очищенной поверхности.

На чистую поверхность нанести каплю смеси, состоящей из равных объемов 3%-ных растворов NaCl и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, к которой добавлен фенолфталеин (2-3 капли на 10 мл смеси).

На ярком свете наблюдайте появление различной окраски в центре капли и по ее краям. Учитывая дифференциальную аэрацию (различный доступ кислорода воздуха в центре и по краям капли) составьте схему работы возникающей гальванопары и напишите уравнения процессов, происходящих на разных участках капли.

Задание 2. Метод гравиметрии.

Приготовить 300 мл 3%-го раствора NaCl .

Подготовить два одинаковых по размерам (30×30 мм) образца листового железа с отверстиями для подвески. Зачистить их поверхность шкуркой, промыть теплой водой с мылом или порошком (содой), протереть фильтровальной бумагой, высушить и взвесить с точностью до четырех знаков после запятой.

С помощью проволочных крючков в хлорвиниловой

изоляции подвесить образцы в стаканы с залитым в них раствором NaCl (по 150 мл в каждом).

Раствор в одном стакане перемешивать в течение часа на магнитной мешалке, другой стакан оставить в спокойном месте.

По окончании опыта образцы достать, ополоснуть теплой водой, протереть фильтровальной бумагой для удаления ржавчины, просушить и взвесить на тех же весах.

Рассчитать скорость коррозии по формуле (5) и сделать вывод по результатам опыта. Сделав пересчет по формуле (6), определить балл и группу стойкости (по приложению 1).

Задание 3. Электрохимический метод.

Собрать установку, как показано на рисунке.

Два образца листового железа (в виде хорошо зачищенных пластин листового железа размером 100×40 мм) поместить в ванну с 3%-ным раствором NaCl и с помощью зажимов присоединить их к клеммам микроамперметра, причем к положительной клемме прибора присоединяется образец, около которого продувается воздух.

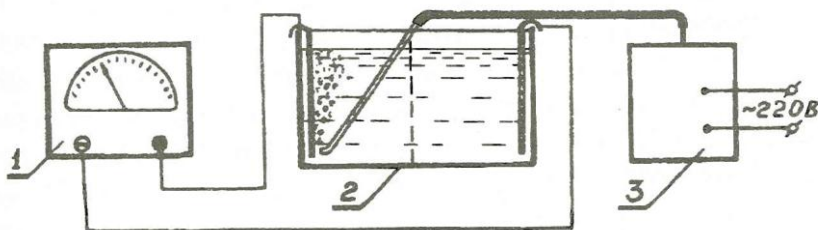


Схема установки: 1-микроамперметр МЗ66;
2 - ванна с диафрагмой; 3 – компрессор.

В течение 10 минут продувать воздух через раствор, не допуская распыливания раствора.

Определить цену деления шкалы прибора и, заметив

максимальную силу коррозионного тока, рассчитать его величину.

По формуле (7) вычислить скорость коррозии анодного участка макроэлементов и сделать выводы по результатам опыта.

Сделав пересчет по формуле (6), определить балл и группу стойкости (по приложению 1).

Повторить опыт, предварительно растворив в 3%-ном растворе NaCl предложенный преподавателем ингибитор в указанной концентрации. Сделать вывод о влиянии ингибитора на скорость коррозии.

Контрольные вопросы

1. Сущность коррозионных процессов с кислородной деполяризацией.
2. Контролирующие факторы при кислородной деполяризации и их влияние на скорость коррозии.
3. Сущность расчета скорости коррозии (по массе и на основе законов Фарадея).
4. Напишите уравнения процессов, происходящих при опускании железа в нейтральные, кислые и щелочные растворы.

Лабораторная работа № 4 **АНОДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

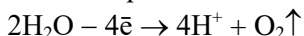
Цель работы: нанесение защитных оксидных пленок и испытание их качества.

Приборы и реактивы: выпрямитель на 20 В и 1–2 А; электролизер со свинцовыми катодами; секундомер; серная кислота, 100 г/л; раствор для обезжиривания (см. табл. 1); раствор красителя; раствор для испытания качества пленок; электроплитка; термометр на 100°C.

Ход работы

При выполнении работы следует учесть, что в условиях атмосферной коррозии сплавы алюминия, даже при облучении, отличаются повышенной стойкостью. Устойчивость сплавов алюминия объясняется наличием естественной оксидной пленки, имеющей толщину 0,02–0,10 мкм. Несмотря на высокую химическую активность алюминия (стандартный окислительно-восстановительный потенциал равен –1,66 В), тонкая и плотная пленка оксида защищает металл или сплав. Химический анализ показал, что пленка в основном состоит из гидратированного оксида $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Такая пленка устойчива в нейтральных водных растворах, однако в некоторых кислотах и щелочах она легко растворяется, при этом металл интенсивно корродирует.

При прохождении электрического тока через электролит (чаще всего раствор серной или щавелевой кислот) на аноде происходит окисление воды по реакции:



Выделяющийся кислород окисляет алюминиевую поверхность и поверхность примесей, выступающих из кристаллической решетки сплава. Благодаря этому поверхность алюминиевой основы полностью покрывается утолщенной пленкой, включая и ее дефекты (границы зерен основы и границы основы с примесями). Полученная утолщенная пассивная пленка на алюминии и его сплавах обладает весьма высокой твердостью и коррозионной стойкостью.

Для выполнения работы приготовить образец листового сплава алюминия АМгб или АМц и провести с ним операции согласно табл.1.

Таблица 1.

Порядок выполнения анодирования

№ п/п	Операция	Состав ванн	Режим работы	Время, мин
1	Обезжиривание	Na_3PO_4 50 г/ л NaOH 10 г/ л Na_2SiO_3 30 г/ л	$t = 60-70^\circ\text{C}$	3-5
2	Промывка в проточной воде	Холодная вода		0,5
3	Анодирование	H_2SO_4 100 г/ л	Плотность тока $1,5 \text{ А/дм}^2$; $U = 12 \text{ В}$; $t = 18-25^\circ\text{C}$	20
4	Промывка в проточной воде	Холодная вода		0,5
5	Окрашивание пленки	0,1% Конго-рот или другой краситель	$t = 70-80^\circ\text{C}$	2
6	Промывка в проточной воде	Холодная вода		0,5
7	Уплотнение пленки	Дистиллированная вода	$t = 90-100^\circ\text{C}$	20
8	Сушка	Сушильный шкаф	$t = 80-90^\circ\text{C}$	10-15

В случае необходимости пленку снимают растворами следующего состава: 100 мл/л ортофосфорной кислоты, 35 г/л CrO_3 или в концентрированной серной кислоте при $+80^\circ\text{C}$.

Испытание качества пассивной пленки.

1. Испытанию подлежат:

- 1.1. Исходный образец алюминия, не подвергшийся каким либо видам обработки и имеющий естественную пассивную пленку;

- 1.2. Образец, полученный анодным оксидированием.
2. Для испытания коррозионной устойчивости оксидной пленки на поверхность каждого образца наносят (из капельницы пипеткой) 1-2 капли раствора следующего состава:

HCl (плотность 1,19)25 мл

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$3,0 г

H_2O 0,75 мл

Качество пленки устанавливается по времени (по числу минут), протекшему до начала позеленения нанесенной капли. Согласно табл.2 можно оценить толщину пассивной пленки на образцах.

Таблица 2.

Время, прошедшее с момента нанесения до позеленения капли при толщине пленки порядка 5 мкм

Температура, °C	11-13	14-17	18-21	22-26	27-32
Норма времени, мин	10	8	5	4	3

Результаты опытов и отчет по выполненной работе предъявить преподавателю для проверки.

Контрольные вопросы

1. Какие химические процессы протекают при анодировании?
2. Какие факторы влияют на толщину оксидных пленок?
3. Как подсчитать ток, который необходимо задать при анодировании изделия?
4. В чем состоит сущность уплотнения и окраски оксидных пленок?
5. Какой химический процесс происходит при контроле качества пленки? Написать уравнение.

Лабораторная работа № 5

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ

Цель работы: изучение особенностей нанесения медных покрытий на металлы и сплавы.

Приборы и реактивы: выпрямитель на 12 В, 1-5 А; аналитические весы; штангенциркуль; электролизер объемом 250-500 мл; медный кулонометр; электролит кислого или пиррофосфатного меднения; растворы для обезжиривания, травления и декапирования*; наждачная бумага; секундомер.

Метод электрохимического меднения является старейшим из всех видов гальванических покрытий, он послужил основой для развития гальванотехники. В настоящее время меднение применяется для защитно-декоративной отделки металлических изделий в машино- и приборостроении.

Стандартный потенциал меди $\varphi_{Cu^{2+}/Cu^0}^0 = + 0,34$ В. При нанесении меди на детали из сплавов железа ($\varphi_{Fe^{2+}/Fe^0}^0 = - 0,44$ В) покрытие является катодом. Поэтому при нарушении медного покрытия в электропроводящей среде возникает гальваническая пара, в которой анодно разрушается сплав железа:



На поверхности медного покрытия в этом случае протекают восстановительные (катодные) процессы. Если $pH < 7$, то происходит разряд ионов водорода:



В нейтральной и щелочной среде ($pH \geq 7$) на меди восстанавливается растворенный кислород:



Таким образом, по характеру своей «работы» медное

* декапирование – легкое травление для удаления тонких пассивирующих оксидных пленок

покрытие является катодным и не защищает металл детали (железо) от коррозии в случае частичного повреждения покрытия или его пористости. Поэтому к качеству медных покрытий предъявляются особые требования.

Толщина медного покрытия выбирается в зависимости от назначения (подслой в многослойном покрытии, защита от цементации, гальванопластика и т.д.), условий и регламентируется ГОСТом 9.073.

Перед нанесением покрытия проводится обязательная предварительная подготовка поверхности деталей, включающая обычно обезжиривание, травление и декапирование с промежуточными промывками (см. приложение 2).

Меднение осуществляют в простых или комплексных электролитах. Наиболее распространенным является сернокислый электролит, для которого приняты следующий состав (г/л) и режим осаждения:

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	200-250
H_2SO_4	50-70
Рабочая температура	15-25°C
Катодная плотность тока	1-2 А/дм ²
Выход по току	95-98 %

При перемешивании электролита сжатым воздухом или его циркуляции с непрерывным фильтрованием можно повысить плотность тока до 6-8 А/дм².

Медь из кислых электролитов разряжается на катоде из простых гидратированных ионов по схеме



Поэтому для предотвращения цементации стальные детали нужно опускать в ванну под током. Электрохимический эквивалент меди составляет 1,186 г/А·ч. Кислые электролиты характеризуются низкой рассеивающей способностью и выделением контактной меди на поверхности стальных деталей, в связи с чем при меднении

стали в этом случае необходимо предварительное осаждение подслоя никеля или меди из цианистого электролита толщиной не менее 2-3 мкм.

Для получения гладких и блестящих покрытий в сернокислый электролит вводят различные добавки (этиловый спирт, тиомочевину, дисульфонафталиновый натрий и др.) в небольших количествах: $5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-1}$ г/л.

Менее распространены борфтористоводородные и кремнефтористоводородные электролиты, характеризующиеся более высокой допустимой плотностью тока (до 10-30 А/дм²) и выходом по току, близким к 100%. Однако эти электролиты более сложны по приготовлению и эксплуатации.

Что касается анодов, то наличие в их составе мышьяка или закиси меди может привести к серьезным неполадкам в работе ванн. Площадь анодов должна быть в 2 раза больше площади катодов, иначе может наступить пассивация анодов.

Таким образом, кислые электролиты наиболее дешевые и простые, не ядовиты и устойчивы, допускают применение повышенных плотностей тока в ряде случаев, но обладают низкой рассеивающей способностью.

Среди комплексных электролитов наиболее известны щелочные, цианистые, из них возможно непосредственное осаждение меди на сталь, а завешивание деталей в ванну можно производить при включенном токе. Эти электролиты характеризуются высокой рассеивающей способностью, мелкокристалличностью осадка. Выделение меди на катоде происходит из комплекса одновалентной меди $[\text{Cu}(\text{CN})_2]$, при этом электрохимический эквивалент равен 2,372 г/А·ч. Поэтому скорость осаждения меди из комплексных электролитов намного выше, чем из кислых, хотя выход по току не превышает 70 %. Основной недостаток цианистых электролитов – их токсичность, однако при строгом соблюдении требований техники безопасности

они обеспечивают высокое качество покрытия.

Для замены цианистых электролитов менее токсичными был предложен целый ряд составов (аммиачные, роданистые, триэтаноламиновые и др.). Наиболее распространен пирофосфатный, для которого применяют следующий состав (г/л) и режим работы:

$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	120–145
или $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	70–90
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	85–95
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	30–35
Рабочая температура	20–30°C
pH	7,5–8,9
Катодная плотность тока	0,3–0,4 А/дм ²
Выход по току	75–80%

В указанном режиме скорость осаждения меди не превышает 3–4 мкм/ ч.

Площадь поверхности медных анодов должна быть в 2-3 раза больше площади покрываемых деталей. Интенсивное перемешивание электролита позволяет поднять допустимую плотность тока до 1 А/дм².

При составлении электролита каждый его компонент растворяют отдельно в горячей дистиллированной воде, после чего сливают вместе при перемешивании. Готовый электролит темно-синего цвета содержит комплексные ионы двухвалентной меди. При меднении стальных деталей в указанном растворе они должны завешиваться в ванну под током. Рассеивающая способность пирофосфатного электролита лишь немного ниже, чем у цианистых ванн.

Корректировка пирофосфатного электролита сводится к поддержанию заданного интервала pH посредством добавок разбавленного раствора гидроксида натрия или ортофосфорной кислоты. При величине pH > 8,9 аноды пассивируются с

образованием на них рыхлого осадка, а на медном покрытии возникают полосы и коричневый налет. Падение $\text{pH} < 7$ приводит к выделению контактной меди.

Накопление солей двухвалентного железа, а также частичное восстановление меди до одновалентной ведет к шероховатости покрытия. Для устранения этого явления железо осаждают щелочью, а медь окисляют введением перекиси водорода.

Для кратковременной защиты медных покрытий от коррозии, если меднение является окончательным видом отделки, детали непосредственно после покрытия пассивируют в растворах, содержащих 100 г/л бихромата калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) или хромового ангидрида (CrO_3) с добавкой 10-15 г/л серной кислоты. Деталь погружают в указанный раствор на 10-15с с покачиванием или встряхиванием. Затем детали промывают в воде и сушат.

Для длительной защиты от коррозии детали оксидируют в аммиачных растворах углекислой меди. В зависимости от концентрации раствора и времени выдержки детали в нем можно получить красивую оксидную пленку от синего до черного цвета.

Пористость медного покрытия на стали можно определить методом наложения на свежепокрытую и промытую поверхность детали фильтровальной бумаги, смоченной в растворе $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ – 10 г/л, NaCl – 20 г/л на время – 5-10 минут. Затем фильтровальная бумага промывается водой и высушивается. Подсчитывается среднее количество синих точек на единицу площади.

Ход работы

Получают у преподавателя задание на покрытие латунной, бронзовой или медной детали из кислого электролита или стальной детали из пирогенфосфатного электролита.

Предварительно подготовленную (см. приложение 2) деталь взвешивают на технических весах и подключают в качестве катода электролизной ванны. Последовательно с электролизной ванной включают медный кулонометр с предварительно взвешенным

катодом (см. приложение 3). Рассчитывают величину необходимого тока по рекомендуемой плотности тока и площади поверхности детали. Завешивание детали в ванну производить только при небольшом включенном токе. После полного погружения детали задают рассчитанный ток. Электролиз ведут в течение времени, указанного преподавателем (10-30 мин). Записывают установившееся напряжение на ванне. По окончании электролиза выключают ток, промывают проточной водой деталь, высушивают и взвешивают, определяя m_n – практически полученное увеличение массы, т. е. массу медного покрытия. Промывают проточной водой, высушивают и взвешивают катод кулонометра, определяя увеличение массы катода кулонометра m_k .

Производят следующие расчеты.

1. Вычисляют теоретическую массу медного покрытия:

$$m_T = \mathcal{E} \cdot I \cdot \tau / F ,$$

где \mathcal{E} - эквивалентная масса меди, 31,8 г/моль; I - сила тока, А;

τ - время электролиза, ч или с, в зависимости от выбранного значения постоянной Фарадея; F - постоянная Фарадея (26,8 А·ч/моль или 96500 Кл/моль).

2. Рассчитывают толщину покрытия:

$$\delta = m_n \cdot 10^5 / (\rho \cdot S) ,$$

где m_n - практическая масса медного покрытия, г; S - площадь покрытия, дм^2 ; ρ - плотность металла, кг/м^3 (для меди $\rho = 8960 \text{ кг/м}^3$); 10^5 - переводной коэффициент.

3. Находят выход по току:

$$A = m_n / m_T .$$

4. Вычисляют удельный расход электроэнергии:

$$W = I \cdot U_B \cdot \tau / m_n ,$$

где U_B - напряжение на ванне, В.

Все данные заносят в таблицу:

Сила тока I , А	
Плотность тока i , А/дм ²	
Площадь покрытия S , дм ²	
Время электролиза τ , ч	
Практическая масса покрытия $m_{\text{п}}$, г	
Теоретическая масса покрытия $m_{\text{т}}$, г	
Толщина покрытия δ , мкм	
Выход по току A , %	
Напряжение на ванне U , В	
Удельный расход электроэнергии W , Вт·ч / г	
Увеличение массы катода кулонометра $m_{\text{к}}$, г	
Количество электричества по кулонометру q , А·ч	
Количество электричества по часам и амперметру q' , А·ч	

Контрольные вопросы

1. Какие процессы протекают при нарушении медного покрытия на стальной детали в среде электролита?
2. Дайте сравнительную характеристику электролитов меднения.
3. Как повысить коррозионную стойкость медного покрытия?
4. Как определить пористость медного покрытия на стальной детали?

Лабораторная работа № 6 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ЦИНКОВАНИЕ

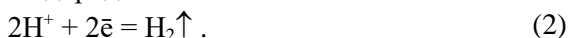
Цель работы: ознакомление с процессом электрохимического цинкования, осветления и пассивации, изучение влияния режима электролиза на качество покрытия и выход по току.

Приборы и реактивы: выпрямитель на 12 В, 1-5 А; аналитические весы; штангенциркуль; электролизер объемом 250-500 мл; медный кулонометр; электролиты кислого цинкования, осветления, фосфатирования; растворы для обезжиривания, травления и декапирования* (см. ссылку в разделе «Приборы и реактивы» работы №5); наждачная бумага; секундомер.

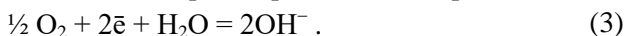
Защитные металлические покрытия, к которым в первую очередь относятся цинковые покрытия, широко применяются в машиностроении и приборостроении. Цинк является активным металлом, стандартный потенциал его ($\varphi_{Zn^{2+}/Zn}^0 = -0,76$ В) значительно электроотрицательнее потенциала железа ($\varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44$ В) и других черных металлов. В паре с ними цинк является анодом и при коррозии, если покрытие нарушено, ионизируется по реакции:



На поверхности железа в этом случае протекают восстановительные (катодные) процессы. Если $pH < 7$, то разряжаются ионы водорода:



В нейтральной и щелочной средах ($pH > 7$) на железе происходит восстановление растворенного кислорода:



Поверхность железа при этом (в царапине или трещине) разрушаться не будет. Таким образом, по характеру своей «работы» цинковое покрытие является анодным и защищает основной металл (железо) и в случае пористости или частичного повреждения участка покрытия.

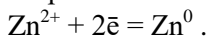
Цинковые покрытия могут быть нанесены несколькими способами. Чаще всего применяют термическое цинкование (шерардизация), метод окунания в расплавленный цинк, покрытие расплавленным цинком в струе горячего воздуха (шоопирование)

или плазменную металлизацию, а также гальваническое цинкование.

При гальваническом (электрохимическом) цинковании покрытие получается беспористым, равномерным, чистым и легко регулируемым по толщине, а механические свойства покрываемого изделия не изменяются.

Толщина цинкового покрытия выбираются в зависимости от условий эксплуатации. Чем больше толщина, тем дольше покрытие защищает основной металл. В жестких условиях (в атмосфере SO_2 , CO_2 , других агрессивных газах, в присутствии хлоридов) скорость разрушения цинкового покрытия составляет 6,0-20,0 мкм/год. Повышенной коррозионной стойкостью в ряде случаев обладают блестящие цинковые покрытия.

Нанесение гальванического покрытия осуществляют после обязательной предварительной подготовки поверхности деталей (см. приложение 2) в простых или комплексных электролитах цинкования. К простым электролитам относятся сернокислые и борфтористоводородные. Эти электролиты характеризуются высоким выходом по току, высокой поляризацией и рассеивающей способностью. Цинк из этих электролитов выделяется на катоде при разряде простых гидратированных ионов по схеме:



Комплексные электролиты – цианистые, цинкатные, аммиакатные, пирофосфатные и др. характеризуются высокой рассеивающей способностью (вследствие высокой поляризации и падения выхода по току с повышением плотности тока).

Для покрытия деталей несложной формы чаще всего применяют кислый электролит следующего состава (в г/л):

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200-300
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	50-100
$\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	30
Декстрин	8-10

который используют при следующих условиях:

рН 3,5-4,5

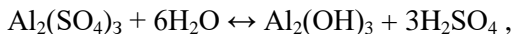
Температура 18-25°С

Катодная плотность тока 1,0-2,0 А/дм²

Приготовление электролита описано в приложении 4.

В этом электролите сульфат цинка является источником ионов цинка при образовании покрытия на катоде. Сульфат натрия вводится с целью увеличения электропроводности электролита, а это приводит к повышению рассеивающей способности.

Существенную роль в сернокислых электролитах играет кислотность, оптимальное значение рН лежит в пределах. 4,0-4,5. При уменьшении рН падает выход цинка по току из-за усиленного разряда ионов водорода. В то же время растет анодный выход цинка по току из-за усиления коррозии анодов. При значении рН 5 возможно образование малорастворимых основных солей и гидроксида цинка вследствие подщелачивания прикатодного слоя. Включение этих твердых продуктов в цинковое покрытие резко снижает его качество. Для стабилизации кислотности в сернокислый электролит вводят буферную добавку – сульфат алюминия. В интервале рН 3,5–4,5 эта соль гидролизуетсся с образованием серной кислоты:



что поддерживает кислотность электролита на нужном уровне.

Все соли электроположительных металлов (меди, свинца, олова, серебра) ухудшают качество покрытия, поэтому накапливающиеся в процессе работы такие примеси удаляют проработкой электролита при низких плотностях тока.

Добавки органических веществ (декстрин, гуммиарабик) способствуют увеличению катодной поляризации и образованию мелкокристаллических светлых покрытий. Блестящие покрытия можно получить вводя дисульфонафталиновую кислоту или ее соли, а также блескообразователи У-2 и ДЦУ – продукты

конденсации дицианамида с формальдегидом.

Кислые электролиты наиболее простые и дешевые, они устойчивы, не ядовиты, допускают применение повышенных плотностей тока при перемешивании и повышенной температуре. Основной их недостаток – низкая рассеивающая способность.

Вследствие высокой химической активности цинка во влажной среде даже чистый электролитический цинк быстро корродирует. Для повышения защитных свойств цинкового покрытия оцинкованные детали осветляют в азотнокислых растворах и затем пассивируют (хроматируют) в растворах хромовой кислоты и ее солей. Совместить осветление и пассивирование можно в растворе следующего состава (в г/л):

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	25-35
HNO_3	4-7
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	9-15

Продолжительность обработки 30–60с. После такой обработки и промывки в холодной проточной воде поверхность покрытия приобретает золотистую окраску, изделие приобретает декоративный вид. Доброкачественная хроматная пленка не должна стираться мягкой карандашной резинкой. (В процессе осветления и пассивирования покрытие частично растворяется, поэтому при нанесении покрытия делают припуск 2–3 мкм)

Еще один метод повышения коррозионной стойкости цинковых покрытий – фосфатирование с последующим окрашиванием. Фосфатирование осуществляют, погружая деталь на 20–30 мин в один из следующих растворов (в г/л):

<u>Раствор №1</u>		<u>Раствор №2</u>	
Препарат МАЖЕФ	30-40	ZnO	20-35
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	30-60	H_3PO_4	20-30
Температура	85-95°C	NaNO_3	1,5-2,0
		Температура	15-25°C

При взаимодействии цинка с кислыми солями ортофосфатов марганца и железа образуются нерастворимые фосфаты цинка и железа в виде прочной пленки темно-серого цвета. В процессе фосфатирования цинк частично растворяется, и при цинковании нужно делать припуск на 6-9 мкм.

Ход работы

Предварительно подготовленную (см. приложение 2) деталь взвешивают на технических весах и подключают в качестве катода электролизной ванны. Последовательно с электролизной ванной включают медный кулонометр с предварительно взвешенным катодом (см. приложение 3). Включают и задают нужный ток, предварительно рассчитав его по рекомендуемой плотности тока и площади поверхности детали. Замечают время начала электролиза. Электролиз ведут в течение времени, указанного преподавателем (10-20 мин). Записывают установившееся напряжение на ванне. По окончании электролиза выключают выпрямитель, промывают проточной водой деталь, высушивают и вновь взвешивают, определяя $m_{ц}$ – практически полученное увеличение массы, т.е. массу цинкового покрытия. Промывают проточной водой, высушивают и взвешивают катод кулонометра, определяя увеличение массы катода кулонометра.

Расчеты производят по формулам, приведенным в лабораторной работе № 5 в разделе «Ход работы», приняв для цинка плотность $\rho = 7100 \text{ кг/м}^3$. Условия электролиза и параметры покрытия занести в таблицу, аналогичную таблице в лабораторной работе № 5.

Делают вывод о внешнем виде и качестве покрытия. Осветляют и пассивируют покрытие, проверяют качество пассивной пленки.

Контрольные вопросы

1. Для чего наносят гальванические покрытия?

2. Какие покрытия называются анодными, а какие катодными?
3. В чем заключается предварительная подготовка деталей перед покрытием и для чего она выполняется?
4. Почему растворы для осаждения гальванических покрытий имеют сложный состав?
5. Что называется плотностью электрического тока?
6. Как определить выход по току?
7. Как рассчитать удельный расход электроэнергии?
8. Как определить толщину гальванического покрытия на плоской детали?
9. Как рассчитать продолжительность электролиза при заданной толщине покрытия? В каких случаях делается припуск по толщине покрытия?
10. Как подсчитать теоретическую массу осажденного металла?
11. Почему не все металлы можно получить электролизом из водного раствора?

Приложение 1

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов (старый ГОСТ 13819-68).

(В новом ГОСТе 9.908 - 85 данная шкала отсутствует)

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, П, мм/год	Балл
1. Совершенно стойкие	0,001	1
2. Весьма стойкие	0,001 - 0,005	2
	0,005 - 0,010	3
3. Стойкие	0,010 - 0,050	4
	0,050 - 0,100	5
4. Пониженно стойкие	0,100 - 0,500	6
	0,500 - 1,000	7
5. Малостойкие	1,000 - 5,000	8
	5,000 - 10,000	9
6. Нестойкие	10,000	10

Приложение 2

Подготовка поверхности образцов

Подготовка поверхности имеет решающее значение для качества покрытий. Поверхность детали должна быть тщательно очищена от механических, жировых и оксидных пленок.

Последовательность операций при подготовке поверхности стальных образцов перед нанесением гальванических покрытий

№ п/п	Операция	Состав раствора	Концентрация, г/л	Температура, °С	Время, мин
1.	<u>Обезжиривание:</u>	NaOH	5-15	60-80	5-20
	а). химическое	Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O Na ₂ CO ₃ Синтанол ДС-10	15-35 15-35 3-5		
	б). электрохимическое, плотность тока 5-10 А/дм ²	NaOH Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O Na ₂ CO ₃	20-40 20-40 20-40		2-3 на катоде, а затем 1-2 на аноде
	в). протирка венской известью		—	—	—
2.	Промывка водой после операций 1а и 1б После операции 1 в	непроточная	—	60	1-2
		проточная	—	18-25	1-2
		—	—	—	—
3.	Травление*	HCl или H ₂ SO ₄	150-200	18-25	3-10
4.	Промывка водой	проточная	—	18-25	1-2
5.	Протирка венской известью	—	—	—	—
6.	Промывка водой	проточная	—	18-25	1-2
7.	Активация (декапирование)	H ₂ SO ₄	50	18-25	0,5-1,0
8.	Промывка водой	проточная	—	18-25	1-2

* Примечание. Операции 3-6 проводят при наличии на образцах видимых следов окисления.

Определение количества электричества, прошедшего через электролизер, с помощью медного кулонометра

Медный кулонометр наиболее распространен в практике лабораторных измерений, так как он прост в изготовлении, легкодоступен и достаточно точен (0,1%). Выход по току в медном кулонометре 100%, т.к. отсутствуют побочные процессы. Он представляет собой стеклянный или пластмассовый сосуд, в котором находятся 3 медные пластинки – два анода возле противоположных стенок, а между ними на равном расстоянии катод. Электролитом является водный раствор состава:

H_2SO_4 50 г/л;
 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 125 г/л;
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 50 мл/л.

Готовят электролит, растворяя компоненты в небольшом количестве воды в отдельных сосудах, и затем сливают полученные растворы вместе, добавляя водой до нужного объема.

Кулонометр включается в цепь последовательно с электролизной ванной. Количество прошедшего через кулонометр, а следовательно, и через электролизную ванну электричества, определяют по увеличению массы катода кулонометра:

$$Q = I \cdot \tau = m_k \cdot F / \mathcal{E} \quad [\text{А} \cdot \text{ч}]$$

где m_k – увеличение массы катода кулонометра, г; F – постоянная Фарадея (26,8 А·ч/моль или 96500 Кл/моль); \mathcal{E} – эквивалентная масса меди, 31,8 г/моль.

Размеры катода кулонометра выбирают таким образом, чтобы катодная плотность тока была в пределах 0,2-2,0 А/дм². При более высокой плотности тока осадок меди на катоде кулонометра будет рыхлым, в виде порошка, и при промывке, сушке и взвешивании могут быть большие потери.

Приготовление электролита кислого цинкования

Каждый из компонентов взвешивают в соответствии с заданным составом и объемом ванны, растворяют в отдельных емкостях в горячей дистиллированной воде, фильтруют и затем сливают вместе в рабочую ванну, доливая водой до требуемого объема.

Навеску декстрина растворяют отдельно в небольшом количестве холодной воды, полученный мутный раствор добавляют в ванну (перед доливкой ее водой до требуемого объема) и подогревают до температуры 70°C при непрерывном перемешивании. После такого подогрева электролит становится прозрачным.

В свежеприготовленном электролите определяют величину pH. При отклонении от установленных пределов pH производят корректировку трехпроцентной серной кислотой (если $\text{pH} > 4,5$) или пятипроцентным едким натром (если $\text{pH} < 3,5$). Снизить кислотность можно, оставив в электролите цинковые аноды, которые при химическом растворении связывают излишек кислоты.

Свежеприготовленный электролит прорабатывают на стальных катодах при плотности тока 0,7–1,0 А·дм² до получения гладких и светлых покрытий.

Приложение 5

Стандартные электродные потенциалы (ряд напряжений), В

Li^+/Li	K^+/K	Ba^{2+}/Ba	Na^+/Na	Mg^{2+}/Mg	Be^{2+}/Be	Ti^{2+}/Ti
- 3,02	- 2,92	- 2,90	- 2,71	- 2,34	- 1,85	- 1,75

Al^{3+}/Al	Mn^{2+}/Mn	Cr^{2+}/Cr	Zn^{2+}/Zn	Cr^{3+}/Cr	Fe^{2+}/Fe
- 1,67	- 1,05	- 0,90	- 0,76	- 0,71	- 0,44

корродируют даже в нейтральных средах без окислителей

Cd^{2+}/Cd	Co^{2+}/Co	Ni^{2+}/Ni	Sn^{2+}/Sn	Pb^{2+}/Pb	Fe^{3+}/Fe	$2\text{H}^+/\text{H}_2$
- 0,40	- 0,28	- 0,25	- 0,14	- 0,13	- 0,036	$\pm 0,00$

корродируют в нейтральных средах в присутствии O_2 ,
в кислых средах и без O_2

Bi^{3+}/Bi	Cu^{2+}/Cu	Co^{3+}/Co	Cu^+/Cu	$\text{Hg}^{2+}/2\text{Hg}$	Ag^+/Ag
+0,20	+0,34	+0,40	+0,52	+0,79	+0,80

корродируют в нейтральных и кислых средах
в присутствии O_2 и окислителей

Hg^{2+}/Hg	Pd^{2+}/Pd	Pt^{2+}/Pt	Au^{3+}/Au	Au^+/Au
+0,85	+0,99	+1,20	+1,50	+1,70

Корродируют только в кислых средах в присутствии O_2 ,
окислителей или комплексообразователей