

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Институт химических и нефтегазовых технологий
Кафедра энергоресурсосберегающих технологий в химических и нефтегазовых технологиях

Старикова Елена Юрьевна

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

Методические материалы
к лабораторным работам и самостоятельной работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и
теплотехника» в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензент: Михайлов Г. С. – кандидат техн. наук, доцент кафедры энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Старикова, Е. Ю. Защита от коррозии: методические материалы к лабораторным работам и самостоятельной работе для обучающихся направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очной и заочной форм обучения / сост. Е. Ю. Старикова; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст: электронный.

Приведено содержание лабораторных работ, порядок их оформления, а также материал, необходимый для успешного изучения дисциплины. Назначение издания – помощь обучающимся в получении знаний по дисциплине «Защита от коррозии» и организации лабораторных работ.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2024
© Старикова Е.Ю.,
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Лабораторная работа №1. Исследование коррозионной агрессивности почв и грунтов	3
2. Лабораторная работа №2. Замедлители коррозии стали в кислотах	16
3. Лабораторная работа №3. Кислотостойкость сплавов	25
4. Лабораторная работа №4. Электрохимическое цинкование	31
5. Методические указания к самостоятельной работе	40

Лабораторная работа №1. Исследование коррозионной агрессивности почв и грунтов

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель настоящей работы – исследование коррозионной агрессивности почв и грунтов по отношению к стали. В задачи исследования входит определение потери массы образца, измерение омического сопротивления грунта с помощью источника постоянного тока и построение упрощенных поляризационных кривых.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Почва (поверхностный слой земной коры) и грунт (нижележащие горные породы) содержат различные химические реагенты и влагу и обладают ионной электропроводностью. Это делает их коррозионноактивными электролитами по отношению к эксплуатируемым в них металлическим конструкциям (нефтепроводам, газопроводам, водопроводам, канализационным сетям, обсадным трубам скважин, подземным кабелям, бакам и емкостям, тубингам метро, сваям и др.), что приводит к электрохимической коррозии этих конструкций.

Внешняя поверхность подземных металлических трубопроводов в подавляющем большинстве случаев, за исключением очень сухих почв и грунтов, подвергается электрохимической коррозии, которая в зависимости от условий может быть вызвана взаимодействием наружной поверхности металла с окружающей средой (почвенная коррозия) или воздействием на металл блуждающих токов (коррозия под действием блуждающих токов).

Опасность почвенной коррозии подземных металлических сооружений определяется коррозионной активностью грунтов по отношению к металлу сооружения. Коррозионную агрессивность

грунтов по отношению к стальным подземным трубопроводам определяют, согласно ГОСТ 9.602-2016.

“Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии”, по трем показателям: удельному электрическому сопротивлению грунта, потере массы стандартных образцов и средней плотности катодного поляризующего тока (табл. 1). Коррозионную агрессивность грунтов устанавливают по показателю, характеризующему наибольшую коррозионную агрессивность. Если по одному из показателей установлена высокая коррозионная агрессивность грунта, то в определении коррозионной агрессивности по остальным показателям нет необходимости.

Таблица 1

Коррозионная агрессивность почв и грунтов по отношению к стали

Коррозионная агрессивность грунта	Удельное электросопротивление грунта ρ , Ом м	Потеря массы стандартного образца Δm , г	Средняя плотность катодного тока, i_k мА/см ²
Низкая	Свыше 50	До 1	До 0,5
Средняя	20 ÷ 50	1 ÷ 2	0,5 ÷ 2,0
Высокая	До 20	Свыше 2	Свыше 2,0

Для грунтовой коррозии металлов характерны следующие особенности:

1) возникновение и работа макрокоррозионных пар вследствие различия кислородной проницаемости отдельных участков грунта, местной неоднородности грунтов, различной глубины залегания участков металлической конструкции в грунте и т. д., причем эти макропары часто имеют значительные размеры;

2) большое влияние омического сопротивления грунта в связи со значительной ролью работы макрокоррозионных пар, зависящей от этого сопротивления, в общем коррозионном процессе;

3) преимущественно язвенный характер коррозионных разрушений.

Грунтовые условия, в которых эксплуатируются металлические сооружения, неодинаковы. Скорость коррозии металлов в грунте в значительной степени зависит от состава грунта, его влагоёмкости (т. е. способности удерживать влагу) и воздухопроницаемости и определяется кинетикой электродных процессов, а при работе протяженных коррозионных пар – также омическим сопротивлением грунта.

Определение коррозионной агрессивности грунтов по отношению к металлам имеет большое теоретическое и практическое значение для изучения процесса подземной коррозии металлов, выбора металла для подземных сооружений и способа их защиты.

Ускоренное электрохимическое определение коррозионной агрессивности грунтов и коррозионной стойкости разных металлов можно производить как в лаборатории, в отобранных пробах грунтов, так и непосредственно на месте, в полевых условиях.

В полевых условиях измерение электросопротивления грунта проводят по четырёхэлектродной схеме приборами М-416, Ф-416, МС-08 или др.

В лабораторных условиях быстрое сравнение коррозионной стойкости металлов в грунте и коррозионной агрессивности различных грунтов может быть произведено электрохимическими методами определения удельного электрического сопротивления грунтов и с использованием поляризационных кривых, полученных упрощенным методом. Более длительным методом испытаний является определение коррозионной агрессивности грунтов по методу потери массы стандартных стальных образцов (испытание проводится в течение 24 часов).

Для определения коррозионной агрессивности грунтов в лабораторных условиях необходимо произвести отбор и обработку проб испытываемого грунта. Пробы грунта отбирают в шурфах, скважинах и траншеях из слоев, расположенных на глубине прокладки сооружения с интервалами $50 \div 200$ м на расстоянии $0,3 \div 0,5$ м от боковой стенки трубы. Для пробы берут $1,5 \div 2$ кг грунта, удаляют твердые включения размером более 3 мм. Отобранную пробу помещают в полиэтиленовый пакет и снабжают паспортом, в котором указываются номер объекта, пробы, место и глубина отбора пробы. Отобранную пробу грунта просушивают при температуре не выше 105°C , размельчают в ступке до порошкообразного состояния и просеивают через сито с отверстиями $1,5 \div 2,5$ мм. Грунт увлажняют дистиллированной водой до достижения влажности, соответствующей влагонасыщению.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛИ

2. 1. Определение потери массы образцов

Аппаратура и методика выполнения работы

Определение коррозионной агрессивности грунтов по методу потери массы стандартных стальных образцов производится на специальной установке (рис. 1). Установка состоит из жестяной банки 5, источника постоянного тока 1 с выходным напряжением 6 В и стандартного стального образца 3.

Стандартный образец представляет собой стальную трубку длиной 100 мм с внутренним диаметром 20 мм, изготовленную из водогазопроводных труб.

Жестяная банка имеет высоту 100 мм и внутренний диаметр 80 мм.

Перед испытанием поверхность трубки очищают от ржавчины и окалины корундовой шкуркой, обезжиривают ацетоном, высушивают в сушильном шкафу и взвешивают на весах с точностью до 0,1 г.

Стальные трубки должны быть промаркированы.

Стандартный стальной образец устанавливают в жестяную банку и изолируют от дна банки с помощью резиновой пробки. Пробку укрепляют на нижнем торце трубки так, чтобы расстояние между трубкой и дном банки было равно 10÷12 мм.

Банку заполняют испытуемым грунтом на 5 мм ниже верхнего конца трубки. Тщательно трамбуют его шпателем для обеспечения плотного прилегания к стальному образцу. К трубке подключают положительный, а к банке отрицательный полюс источника постоянного тока. Трубка находится под током в течение 24 ч, при напряжении между трубкой и банкой 6 В.

После отключения тока трубку извлекают из грунта, деревянным шпателем очищают от грунта и рыхлых продуктов коррозии, промывают водой и подвергают катодному травлению в 8 %-ном растворе гидрата окиси натрия в течение 15÷20 мин (рис. 2). Для уменьшения тока травления рекомендуется трубку закрыть с торцов резиновыми пробками.

После удаления продуктов коррозии образец промывают дистиллированной водой, высушивают и взвешивают с точностью до 0,1 г. Потеря массы образца равна

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

где m_1 – масса образца до испытания, г; m_2 – масса образца после испытания, г.

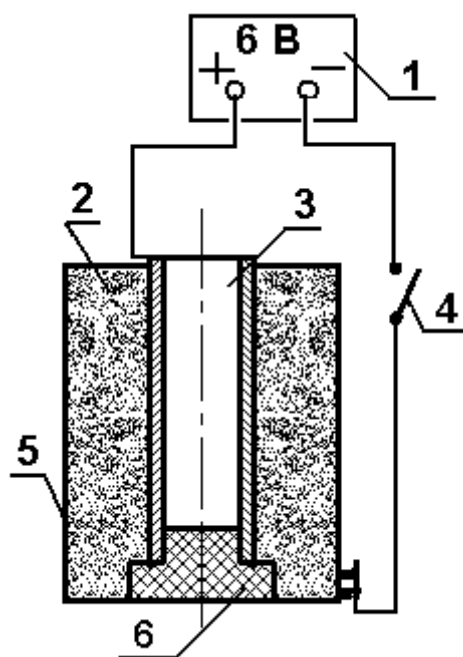


Рис. 1. Схема установки для определения коррозионной активности грунтов по методу потери массы стальных образцов:

- 1 – источник постоянного тока напряжением 6 В;
 2 – исследуемый грунт или почва;
 3 – стальная трубка;
 4 – ключ;
 5 – банка;
 6 – резиновая пробка

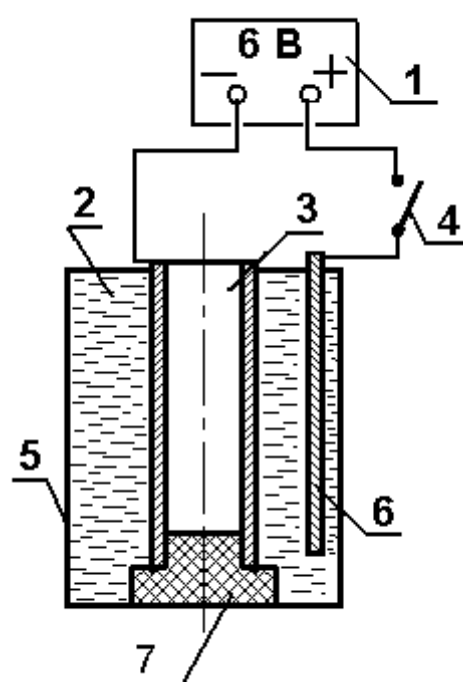


Рис. 2. Схема катодной очистки:

- 1 – источник постоянного тока напряжением 6 В;
 2 – раствор гидрата окиси натрия;
 3 – стальная трубка;
 4 – ключ;
 5 – стеклянный или фарфоровый стакан;
 6 – свинцовый электрод;
 7 – резиновая пробка

Результаты взвешивания и расчета заносят в табл. 2.

Таблица 2

Масса образца, г		Изменение массы образца Δm , г
До испытания m_1	После испытания m_2	

По табл. 1. определяем коррозионную агрессивность проб почв или грунтов.

2. 2. Определение удельного электрического сопротивления грунта

Аппаратура и методика выполнения работы

Источник постоянного тока 1; миллиамперметр 2; вольтметр с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм 4; измерительная ячейка 5 и электроды.

Собирают установку в соответствии со схемой (рис. 3). Заполняют ячейку грунтом на 4 мм ниже верха ячейки. Электроды А и В зачищают шлифовальной шкуркой, обезжиривают ацетоном, промывают дистиллированной водой и устанавливают вплотную к торцевым стенкам внутри ячейки. Внутренние электроды М и N устанавливают в грунт вертикально, опуская их до дна по центральной линии ячейки на расстоянии 50 мм друг от друга и 25 мм от торцевых стенок ячейки.

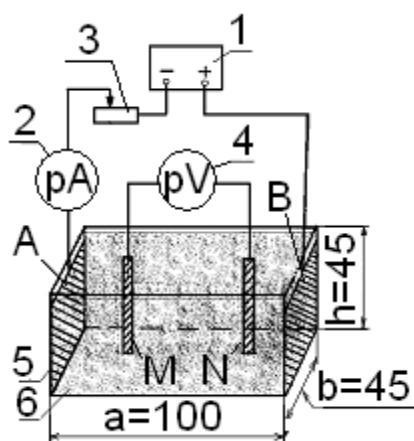


Рис. 3. Схема установки для определения удельного электросопротивления грунта в лабораторных условиях:

- 1 – источник постоянного тока;
- 2 – миллиамперметр;
- 3 – регулятор тока;
- 4 – милливольтметр;
- 5 – измерительная ячейка;
- 6 – исследуемый грунт;
- А, В – внешние электроды,
- М, N – внутренние электроды.

Внешние электроды подсоединяют к источнику постоянного тока 1 последовательно с миллиамперметром 2, а внутренние подсоединяют к милливольтметру 4.

Устанавливают определённое значение силы тока (I) и измеряют падение напряжения между электродами М и N (U). Измерения проводят при трёх разных значениях силы тока $I_1 < I_2 < I_3$, например 1, 2, 3 мА. Затем меняют полярность внешних электродов и повторяют измерения. Результаты измерений заносят в табл. 3.

Измерительная ячейка 5 – прямоугольной формы из диэлектрического материала (фарфор, стекло, пластмасса и т. д.) или из стали с внутренней футеровкой изоляционным материалом.

Внутренние размеры ячейки рекомендуются следующие: $a = 100$ мм, $b = 45$ мм, $h = 45$ мм. Внешние электроды А и В представляют собой прямоугольные пластины (из углеродистой или нержавеющей стали) с ножкой, к которой крепится или припаивается проводник – токопровод. Размеры электродов – 44×40 мм, где 40 – высота электрода. Внутренние электроды М и N – из медной проволоки или стержня диаметром $1 \div 3$ мм и длиной не более высоты ячейки.

Обработка результатов

Сопротивление грунта вычисляют по формуле:

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}. \quad (2)$$

В отсутствие тока разность потенциалов между электродами М и N (U_0) может отличаться от нуля на $10 \div 30$ мВ. Тогда при расчёте используют формулу

$$R = \frac{U_i - U_0}{I_i} \quad (3)$$

и определяют среднее значение сопротивления грунта:

$$R_{CP} = \frac{\sum R_i}{n}, \quad (4)$$

где n – число замеров.

Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м, вычисляют по формуле

$$\rho = R_{CP} \left(\frac{S}{l} \right), \quad (5)$$

где S – площадь поверхности одной стороны внешних электродов, м²; l – расстояние между внутренними электродами, м.

Результаты расчётов заносят в табл. 3.

По табл. 1. определяем коррозионную агрессивность проб почв или грунтов.

Таблица 3

Измеренные величины		Расчётные величины		
Сила тока I_i , мА	Напряжение U_i , мВ	Сопротивление грунта R , Ом	Среднее сопротивление грунта R_{CP} , Ом	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м

2. 3. Определение величины поляризующего тока

Аппаратура и методика выполнения работы

Определение коррозионной агрессивности почв и грунтов по отношению к стали по упрощенным поляризационным кривым производится с помощью специального коррозиметра или по схеме, приведенной на рис. 4.

При этом измеряют силу тока I_k (а по ней рассчитывают плотность тока i_k) и разность потенциалов U_{\ominus} между двумя одинаковыми электродами из одного и того же металла, помещенными в грунт и катодно- и аноднополяризуемыми от внешнего источника постоянного тока.

О скорости коррозии металлов можно судить по виду полученных поляризационных кривых $U_{\ominus} = f(i_k)$. Пологий вид кривой указывает на то, что уже небольшим разностям потенциалов соответствуют большие плотности тока, т. е. что скорость коррозии велика. Крутой вид кривой указывает на малую скорость коррозии в данном грунте. Для сравнения коррозионной стойкости ряда металлов в каком-либо грунте сопоставляют наклоны поляризационных кривых этих металлов в данном грунте. При определении коррозионной агрессивности различных грунтов относительно какого-нибудь металла сравнивают наклоны поляризационных кривых данного металла в этих грунтах.

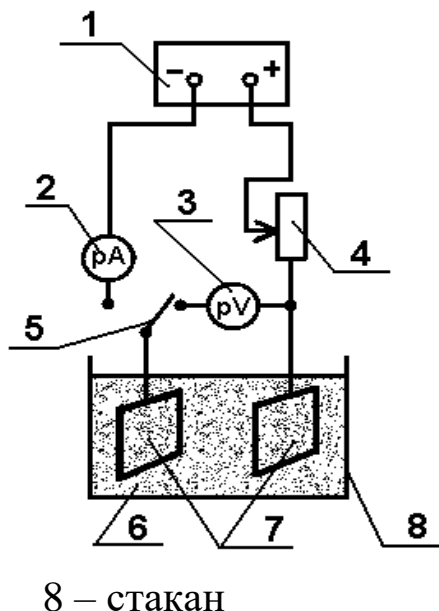


Рис. 4. Схема установки для определения коррозионной агрессивности грунтов по поляризационным кривым:

- 1 – источник постоянного тока;
- 2 – миллиамперметр;
- 3 – вольтметр;
- 4 – регулятор тока;
- 5 – ключ;
- 6 – исследуемый грунт;
- 7 – электроды;

8 – стакан

Схема включает в себя: источник регулируемого напряжения постоянного тока 1, стакан 8 из материала, обладающего диэлектрическими свойствами (стекло, фарфор, пластмасса и т. д.); вольт-

метр 3 с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм и электроды 7. Электроды представляют собой стальные пластинки размером 2×5 см или других размеров с площадью рабочей поверхности 10 см². К каждому электроду припаян изолированный проводник. Сторону крепления проводника к электроду изолируют эпоксидной смолой. Пробу грунта помещают в стакан. Электроды, предварительно зачищенные шкуркой и обезжиренные ацетоном, устанавливают в стакан с грунтом на расстоянии 5÷6 см друг от друга. Грунт уплотняют шпателем и выдерживают электроды в грунте в течение 10÷15 мин.

Расстояние от центра рабочей части электродов до поверхности грунта и дна стакана после уплотнения грунта должно быть не менее 30 мм. Смещать электроды после уплотнения грунта не следует.

Один электрод присоединяют к положительному полюсу источника тока, другой – к отрицательному. Для снятия поляризационной кривой электроды поляризуют при постепенном увеличении плотности тока. При этом достаточно задания 3-4 значений тока. Последнее значение силы тока должно соответствовать разности потенциалов между электродами около 0,6 В.

Продолжительность поддержания каждого значения тока I_k – 5 мин. Измерение разности потенциалов U_{Ξ} между электродами производят в момент разрыва цепи поляризации.

По измеренной силе тока (I_k) и площади электродов (S_{Ξ}) определяют плотность тока i_k , мА/см²

$$i_k = I_k / S_{\Xi} . \quad (6)$$

Результаты измерений и расчётов заносят в табл. 4.

Таблица 4

Сила тока I_k , мА	Разность потенциалов U_{\ominus} , мВ	Плотность тока i_k , мА/см ²

На основании полученных данных строят диаграмму в координатах: $U_{\ominus} - i_k$. По диаграмме определяют плотность тока, соответствующего разности потенциалов 0,5 В.

Результаты всех экспериментов заносят в сводную таблицу (табл. 5) и делают вывод о коррозионной агрессивности грунта по отношению к стали в соответствии с данными табл. 1.

Табл. 5

№ проб ы почв ы или грун- та	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Изменение массы образца Δm , г	Плотность тока i_k , соответствующая напряжению 0,5 В, мА/см ²	Коррозионная агрессивность грунта

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется почвой и грунтом?
2. По каким показателям судят о коррозионной агрессивности почв и грунтов?
3. Каковы характерные особенности и механизм грунтовой коррозии почв и грунтов?
4. Какие факторы влияют на скорость почвенной коррозии?
5. Порядок подготовки проб грунта для исследований.

6. В чем заключается подготовка образцов для коррозионных испытаний?
7. Методика определения коррозионной агрессивности почв и грунтов.
8. Что характеризует наклон упрощенной поляризационной кривой?
9. Каким образом осуществляется катодная очистка стального образца после испытаний?

Список рекомендуемой литературы

1. Стрижевский, И. В. Защита подземных металлических сооружений от коррозии: Справочник / И. В. Стрижевский, А. В. Белоголовский, В. И. Дмитриев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.
2. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии: РД 153-39.4-091-2001: утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 29.12.2001: ввод в действие с 1.02.02. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2002. – 240 с.
3. Стрижевский, И. В. Подземная коррозия и методы защиты / И. В. Стрижевский. – М.: Металлургия, 1986. – 112 с.
4. ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. сооружения подземные. общие требования к защите от коррозии.– введен в действие С 01.06.2017. – 54 С.

Лабораторная работа №2. Замедлители коррозии стали в кислотах

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – исследование эффективности действия ингибиторов на коррозию углеродистой стали в серной кислоте.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Замедлителями (ингибиторами коррозии) называются вещества (неорганические и органические), введение небольших количеств которых в коррозионную среду заметно уменьшает скорость коррозии.

С электрохимической точки зрения ингибиторы делятся на катодные, анодные и смешанные. Замедление коррозии металла можно осуществить уменьшением скорости катодной реакции, анодной или обеих одновременно. Смешанное ингибирующее действие обнаруживает значительное число органических ингибиторов. Универсальных ингибиторов не существует. Определенное химическое соединение может быть ингибитором коррозии одного металла и одновременно в той же среде стимулятором коррозии другого.

Рациональную концентрацию ингибиторов обычно выбирают на основании изучения зависимости скорости коррозии конкретного металла от концентрации ингибитора в данном электролите.

Анодные ингибиторы уменьшают скорость перехода металла в раствор (например, при адсорбции положительно заряженных частиц в двойном слое) или сокращают активную часть электрода вследствие пассивации. К анодным ингибиторам относятся фосфаты, гидрофосфаты, хроматы и бихроматы натрия, калия, нитриты, вольфраматы (Na_2WO_4), молибдаты (Na_2MoO_4), ванадаты (Na_3VO_4 , NaVO_3). Благодаря нетоксичности, отсутствию вкуса и запаха, а также низкой стоимости фосфаты широко используют в бытовых коммуникациях воды. Хроматы и бихроматы – опасные ингибиторы; при их недостаточной концентрации и наличии в растворе галогенид-ионов может начаться интенсивная локальная коррозия. Нитриты применяют в водных растворах, pH которых превышает 5.

Катодные ингибиторы. Неорганические катодные ингибиторы ограничивают скорость коррозии путем повышения перенапряжения катодного процесса и уменьшения в коррозионной среде концентрации кислорода. К катодным ингибиторам относятся: CaHCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, ZnSO_4 , ZnCl_2 , соединения мышьяка (особенно As_2O_3), висмута (BiSO_4), сурьмы; желатин, агар-агар, декстрин, ЧМ.

Ингибиторы **смешанного действия** уменьшают скорости и катодной и анодной реакции. К смешанным неорганическим ингибиторам относятся силикаты ($x \cdot \text{SiO}_2 \cdot n \text{Na}_2\text{O}$ – жидкое стекло) и полифосфаты $(\text{MePO}_3)_n$. Органические ингибиторы широко применяют при травлении металлов в кислотах перед нанесением защитных покрытий.

К органическим ингибиторам относятся:

- амины, которые применяют как ингибиторы коррозии железа в кислотах и водных средах;
- тиолы (меркаптаны), органические сульфиды и дисульфиды, органические кислоты и их соли (бензоат натрия), спирты;
- уротропин $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ с добавками KI или KBr;
- формальдегид (HCHO) ;
- тиомочевина $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$;
- бензоат натрия $(\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa})$;
- летучие ингибиторы (RNH_2 – гексиламин, R_2NH – диметиламин, R_3N – где R – этил, пропил, бутил и амил).

Летучие (парофазные) ингибиторы коррозии являются современными средствами защиты от атмосферной коррозии металлических полуфабрикатов и готовых изделий на время их хранения и транспортировки. Принцип действия летучих ингибиторов коррозии заключается в образовании паров, которые диффундируют через слой воздуха и тонкую пленку конденсированной воды, присутствующей на поверхности каждого металлического изделия во время его хранения, и достигают поверхности металла. Применение летучих ингибиторов коррозии требует хорошей очистки поверхности изделий и ограничения до минимума объема окружающей защищаемый предмет атмосферы. Это достигается путем упаковки изделий или герметизации аппаратов или емкостей. Консервация металлических изделий при помощи летучих ингибиторов осуществляется следующими методами:

- введением порошка или раствора ингибитора внутрь изделия;
- продувкой внутренних поверхностей при помощи нагретого воздуха, насыщенного парами летучего ингибитора (консервация газовых котлов, турбин, трубопроводов, компрессоров и др. устройств);
- упаковкой изделий в бумагу, покрытую слоем ингибитора, или в бумагу, насыщенную раствором летучего ингибитора;
- погружением изделий в водный или спиртовой раствор летучего ингибитора, причем после испарения растворителя на поверхности остается пленка ингибитора.

Оценка эффективности действия ингибиторов. Эффективность действия ингибиторов принято характеризовать величиной защитного действия Z или защитного эффекта γ :

- защитное действие

$$Z = \frac{K_{m0} - K_{m1}}{K_{m0}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где K_{m0} – весовой показатель скорости коррозии в среде без ингибитора; K_{m1} – весовой показатель скорости коррозии в среде с ингибитором;

- защитный эффект

$$\gamma = \frac{K_{m0}}{K_{m1}}, \quad (2)$$

то есть защитный эффект указывает, во сколько раз ингибитор уменьшает скорость коррозии металла.

Ингибиторы наиболее часто применяют для борьбы с коррозией в системах с ограниченным объемом раствора. Замедлители кислотной коррозии находят широкое применение в процессах травления, при которых требуется удалить с изделия окалину или ржавчину с минимальными потерями самого металла; в процессах переработки нефти; для защиты теплосилового оборудования от коррозии.

3. Методика и порядок проведения работы

При проведении лабораторной работы исследуют скорость коррозии образцов одной марки стали в растворе серной кислоты без ингибиторов и с ингибиторами. Концентрацию кислоты ($1 \div 10\%$), ингибитор (уротропин, уротропин + KBr, желатин, агар-агар, трилон Б и др.) и его концентрацию указывает преподаватель. Определение скорости коррозии проводится двумя методами: весовым (гравиметрическим) и объемным (волюметрическим).

В три стеклянных стакана наливают кислоту с ингибиторами, в один – без ингибитора. Подготавливают четыре стальных образца для коррозионных испытаний: зачищают наждачной бумагой, промывают проточной водой, подсушивают в сушильном шкафу, измеряют размеры штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, обезжиривают органическим растворителем (ацетоном), взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г.

Коррозионные испытания проводят на лабораторной установке, схема которой представлена на рис.4. Подготовленные образцы 1 помещают на подставки 2, прикрывают их воронками 3 коррозиметров, представляющих собой градуированные бюретки, позволяющие определять объем выделившегося водорода. Последовательно наливают в стаканы 4 по 500 мл растворов.

После того, как в первый стакан налит раствор кислоты, с помощью аспиратора 5 затягивают его в бюретку 6 до верхнего деления и хорошо закрывают кран 7, отмечая время начала опыта. Таким же образом поступают и с остальными образцами. Выделившийся водород вытесняет жидкость из коррозиметра. Принимается, что объем вытесненной жидкости соответствует объему выделившегося водорода. Количество выделившегося водорода отмечают (с точностью до 0,1 см³) через каждые 5 минут.

После часового испытания кислота из бюреток спускается в стаканы, пинцетом вынимаются образцы, тщательно промываются водой, просушиваются в сушильном шкафу и взвешиваются на аналитических весах.

Растворы кислот выливают в соответствующие склянки, стаканы и подставки промывают водой. Результаты испытаний записываются в табл. 1.

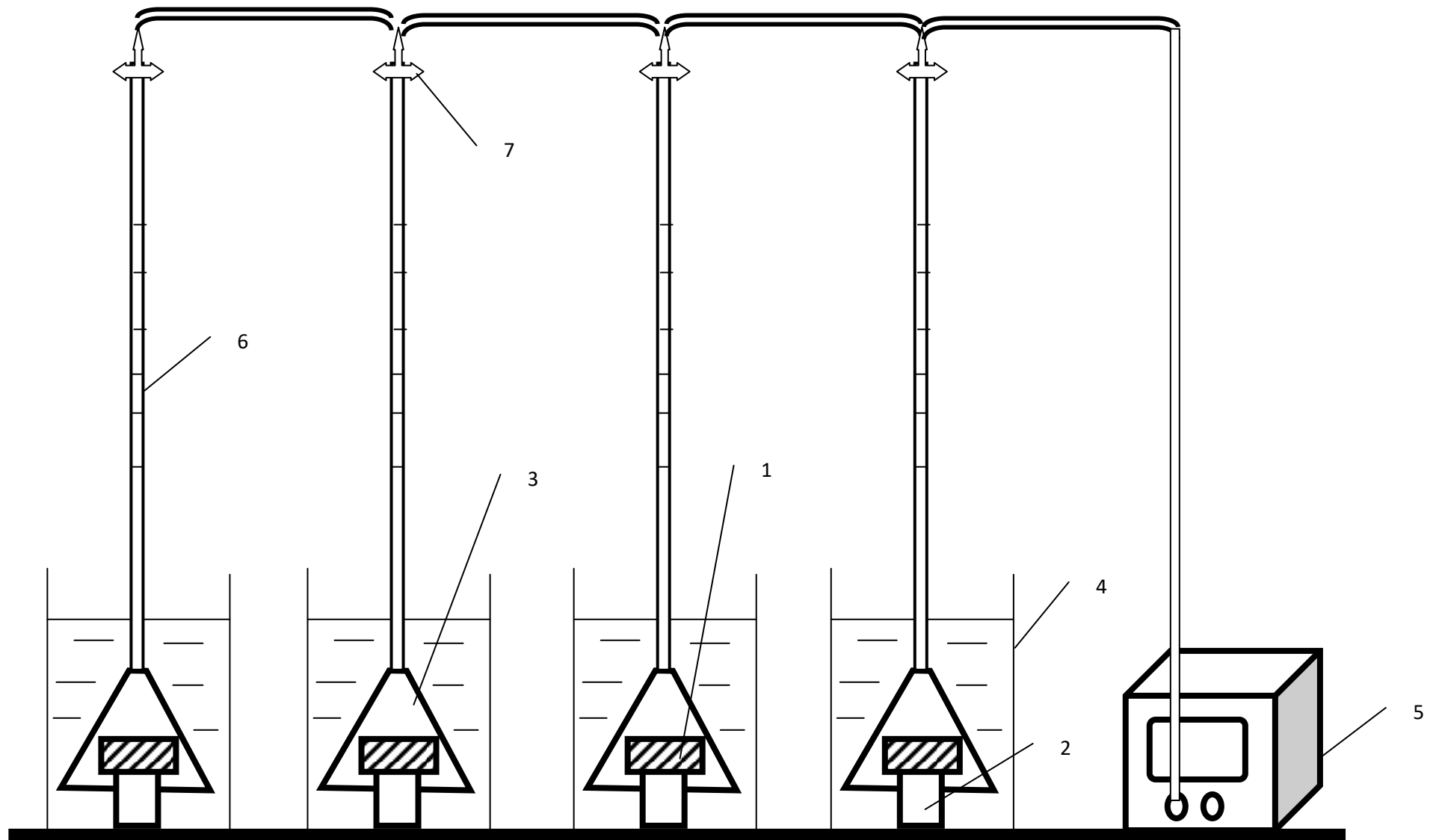


Рис. 4. Схема установки для определения скорости коррозии образцов по объему выделившегося водорода:
1– образцы; 2 – подставки; 3 – воронки; 4 – стаканы; 5 – аспиратор; 6 – бюретки; 7 – трехходовые краны

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассчитывают следующие показатели скорости коррозии:

1) Объемный $K_{об} = \frac{V}{S\tau}$, см³/(см²·ч),

где V – количество водорода, выделившегося за время испытаний, см³; S – поверхность образца, см²; τ – время испытаний, ч.

2) Весовой $K_m = \frac{m_{нач} - m_{кон}}{S\tau}$, г/(м²·ч),

где $m_{нач}$ – начальный вес образца, г; $m_{кон}$ – конечный вес образца, г; S – поверхность образца, м²;

3) Глубинный $K_{П} = \frac{K_m \cdot 24 \cdot 365}{\rho}$, мм/год,

где ρ – плотность металла, кг/м³.

Проводят проверку эквивалентного значения объемного и весового показателя скорости коррозии с определением процента расхождения между ними: рассчитывают весовой показатель скорости коррозии

$$K'_m = K_{об} \frac{2A \cdot 10000}{22429 \cdot n}, \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)},$$

где K'_m – весовой показатель скорости коррозии, пересчитанный из $K_{об}$; A – атомная масса металла, г; n – валентность металла; 22429 – объем одного моля водорода, см³.

По формулам (1) и (2) определяют защитное и действие и защитный эффект исследуемого ингибитора.

Определяют приведенный объем водорода $V_{пр} = \frac{V_i}{S}$,

где V_i – объем водорода, выделившийся за время 5, 10, 15 ... 60 мин.

Результаты расчетов сводятся в табл. 1 и 2.

По результатам испытаний строится график “коррозия-время”, характеризующий кинетику коррозионного процесса, по-

казывающий зависимость приведенного объема водорода $V_{пр}$, $\text{см}^3/\text{см}^2$, от времени τ , мин, для различных составов электролитов.

По данным табл. 2 делается вывод об эффективности действия ингибиторов.

Таблица 1

№ образца	Размеры образца $a \times b \times c$, мм	Начальный вес образца $m_{нач}$, г	Объем выделившегося водорода V , см^3 , через интервалы времени, мин	Приведенный объем выделившегося водорода $V_{пр}$, $\text{см}^3/\text{см}^2$, через интервалы времени, мин	Конечный вес образца $m_{кон}$, г
			5 10 15 ...60	5 10 1560	

Таблица 2

№ образца	Состав электролита	Площадь поверхности образца S , м^2	Объемный показатель $K_{об}$, $\text{см}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$	Весовой показатель K_m , $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Глубинный показатель $K_{п}$, мм/год	Защитное действие Z , %	Защитный эффект γ

Таблица 3

Шкала защитной способности ингибиторов (ГОСТ 9.505-86)

Степень защиты ингибитора, Z , %	Оценка защитной способности ингибитора	
	баллы	словесная
Св. 99,5	5	Отличная
От 97,5 до 99,5	4	Хорошая
От 87,5 до 97,5	3	Удовлетворительная
От 37,5 до 87,5	2	Посредственная
До 37,5	1	Плохая

5. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

1. Выполнять данную лабораторную работу необходимо в халате. Нельзя класть личные вещи, методическую литературу на лабораторный стол.

2. По окончании опыта кислоту осторожно перелить в емкость для ее хранения.

3. При переливании раствора серной кислоты из сосуда в сосуд необходимо пользоваться воронками. Воронки, подставки, химические стаканы по окончании работы необходимо тщательно промыть под струей воды.

4. Жидкость, пролитую на стол или пол, немедленно удалить сухой тряпкой, а затем тряпкой, смоченной в воде, защитив руки резиновыми перчатками.

5. При попадании кислоты на руки ее необходимо немедленно смыть большим количеством проточной воды.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 (297×210 мм) и должен содержать:

- титульный лист установленного образца;
- цель работы;
- кратко изложенные теоретические положения;

- принципиальную схему лабораторной установки;
- порядок выполнения работы;
- две таблицы измеренных и рассчитанных величин;
- примеры расчетов всех величин;
- график “коррозия-время”;
- анализ результатов и выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Каковы способы снижения скорости коррозии путем изменения состава агрессивной среды?
- 2) Что такое анодные замедлители скорости коррозии? Приведите примеры.
- 3) Какие вещества относят к катодным ингибиторам? Каков их механизм действия?
- 4) Что такое парофазные замедлители скорости коррозии? Приведите примеры.
- 5) Приведите примеры ингибиторов смешанного действия.
- 6) Что такое объемный, весовой и глубинный показатель скорости коррозии? Каковы их размерности?
- 7) Как определяются защитный эффект и эффективность действия ингибиторов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2006. – 376 с.
2. Томашов, Н. Д. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов / Н. Д. Томашов, Н. П. Жук, В. А. Титов. – М.: Металлургия, 1971. – 280 с.
3. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защита металлов / Н. П. Жук– М.: Альянс, 2014. – 476 с.

Лабораторная работа №3. Кислотостойкость сплавов

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – определение скорости коррозии углеродистой стали и стали, легированной хромом и никелем, в серной кислоте.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

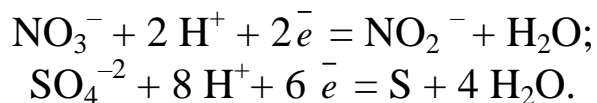
В кислотах, не обладающих окислительными свойствами, в частности, таких, как соляная кислота, неконцентрированная серная, фосфорная кислота, уксусная и т.п., коррозионный процесс протекает с образованием растворимых продуктов коррозии, не защищающих металл от дальнейшего разрушения. Коррозия стали в этих условиях протекает чрезвычайно интенсивно, причем с повышением концентрации кислоты коррозионный процесс ускоряется.

Скорость коррозии железоуглеродистых сплавов в кислотах, обладающих окислительными свойствами, зависит от их концентрации. При концентрации раствора 13 н. для азотной кислоты и 17 н. для серной растворение практически прекращается. В соляной кислоте этот процесс идет по-иному. С ростом концентрации кислоты скорость растворения возрастает непрерывно.

Коррозия металлов в кислотах с неокисляющим анионом протекает преимущественно с водородной деполяризацией. Основным катодным процессом при этом является процесс восстановления ионов водорода



При коррозии в окисляющих кислотах в катодном процессе может участвовать ион водорода по реакции (1) и анион кислоты, например, по реакциям



Торможение коррозионного процесса при увеличении концентрации окисляющих кислот объясняется наступлением пассивного состояния стали. Под пассивностью понимают уменьше-

ние скорости коррозии, вызванное торможением анодного процесса. Характерное проявление пассивного состояния выражается в смещении электродного потенциала металла в положительную сторону. Так железо, потенциал которого в активном состоянии $0,4 \div 0,5$ В, в пассивном состоянии имеет потенциал до +1 В.

Один из наиболее эффективных способов повышения коррозионной стойкости металлов в кислотах – кислотостойкое легирование. Коррозионную стойкость сплавов в окисляющих кислотах можно повысить, вводя легко пассивирующиеся металлы, например хром. Коррозионная стойкость хромистых сталей в значительной степени объясняется созданием на поверхности защитного слоя, возникающего в результате пассивации сплава. Свойство пассивироваться у этих сталей обусловлено хромом. Небольшие количества хрома не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость железохромистых сплавов. Минимальное содержание хрома в хромистых сталях, применяемых в химической промышленности, составляет $12 \div 14$ % при содержании углерода $0,1 \div 0,2$ %.

Добавка никеля в систему Fe-Cr вносит значительные изменения в структуру сплава и влияет на его физико-механические и коррозионные свойства. Коррозионная стойкость хромоникелевых сталей (как и хромистых) обусловлена в основном образованием на поверхности сплава защитной пассивной пленки, однако, хромоникелевые стали обладают несколько более высокой коррозионной стойкостью. Объясняется это наличием в сплаве никеля, который способствует образованию мелкозернистой однофазной структуры и повышает стойкость стали в разбавленных растворах серной кислоты, а также в ряде водных растворов солей. Кроме того, такие стали обладают высокими механическими и технологическими свойствами, т.к. никель повышает пластичность стали.

Но наряду с вышеперечисленным хромоникелевые стали подвержены межкристаллитной коррозии. Для борьбы с этим явлением применяют стали с пониженным содержанием углерода (не выше 0,06 %) и введением стабилизатора (Ti, Nb) в количествах, в 5 раз превышающих содержание углерода в сплаве.

3. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Определяют зависимость скорости коррозии стальных образцов от концентрации серной кислоты. Исследуют коррозионную стойкость легированной стали. Определение скорости коррозии проводится двумя методами: весовым (гравиметрическим) и объемным (волюметрическим).

Испытанию подвергают 3 образца углеродистой стали (Ст 3) в растворах серной кислоты различной концентрации – 40, 60 и 80 % и один образец нержавеющей стали марки X18H9T в 40 % – ном растворе серной кислоты. Длительность испытаний – 1 час.

Образцы для испытаний подготавливают следующим образом: зачищают сначала крупной, затем мелкой наждачной бумагой, промывают, подсушивают, штангенциркулем измеряют размеры образцов. Затем обезжиривают ацетоном и высушивают на воздухе. После этого взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Коррозионные испытания проводят на лабораторной установке, схема которой представлена на рис.4. Подготовленные образцы 1 помещают на подставки 2, прикрывают их воронками 3 коррозиметров. Последовательно наливают в стаканы 4 по 500 мл серной кислоты 40, 60 и 80 % – ной концентрации. Образец из нержавеющей стали заливают 40 % – ной серной кислотой.

После того, как в первый стакан налит раствор кислоты, с помощью аспиратора 5 затягивают ее в бюретку 6 до верхнего деления и хорошо закрывают кран 7, отмечая время начала опыта. Таким же образом поступают и с остальными образцами. Количество выделившегося водорода отмечают через каждые 5 минут.

После часового испытания кислота из бюреток спускается в стаканы, пинцетом вынимаются образцы, тщательно промываются водой, просушиваются в сушильном шкафу и взвешиваются на аналитических весах.

Результаты испытаний записываются в табл. 1.

Таблица 1

№ образца	Размеры образца, мм	Начальный вес образца $m_{\text{нач}}$, г	Объем выделившегося водорода V , см ³ , через интервалы времени, мин	Приведенный объем выделившегося водорода $V_{\text{пр}}$, см ³ /см ² , через интервалы времени, мин	Конечный вес образца $m_{\text{кон}}$, г
			5 10 20 ...60	5 10 15 20 ...60	

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассчитывают следующие показатели скорости коррозии:

1) Объемный $K_{\text{об}} = \frac{V}{S\tau}$, см³/(см²·ч), где V – количество водорода, выделившегося за время опыта, см³; S – поверхность образца, см²; τ – время испытаний, ч.

2) Весовой $K_{\text{вес}} = \frac{m_{\text{нач}} - m_{\text{кон}}}{S\tau}$, г/(м²·ч),

где $m_{\text{нач}}$ – начальный вес образца, г; $m_{\text{кон}}$ – конечный вес образца, г; S – поверхность образца, м².

3) Глубинный $K_{\text{П}} = \frac{K_{\text{вес}} \cdot 24 \cdot 365}{1000\rho}$, мм/год,

где ρ – плотность металла, г/см³.

Результаты расчетов сводятся в табл. 2.

Таблица 2

№ образца	Концентрация кислоты, C , %	$K_{\text{об}}$, см ³ /(см ² ·ч)	$K_{\text{вес}}$, г/(м ² ·ч),	$K_{\text{П}}$, мм/год

По результатам испытаний строятся следующие графики:

- “коррозия – время”, показывающий зависимость приведенного объема водорода $V_{\text{пр}}$, $\text{см}^3/\text{см}^2$, от времени τ , мин, для различных концентраций кислоты;
- “коррозия – концентрация”, показывающий зависимость весового показателя скорости коррозии углеродистой стали $K_{\text{вес}}$, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, от концентрации кислоты C , %; результаты испытания легированной стали даются в виде одной точки на графике.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

1. Выполнять данную лабораторную работу необходимо в халате. Нельзя класть личные вещи, методическую литературу на лабораторный стол.
2. По окончании опыта кислоту осторожно перелить в емкость для ее хранения.
3. При переливании раствора серной кислоты из сосуда в сосуд необходимо пользоваться воронками. Воронки, подставки, химические стаканы по окончании работы необходимо тщательно промыть под струей воды.
4. Жидкость, пролитую на стол или пол, немедленно удалить сухой тряпкой, а затем тряпкой, смоченной в воде, защитив руки резиновыми перчатками.
5. При попадании кислоты на руки ее необходимо немедленно смыть большим количеством проточной воды.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 (297×210 мм) и должен содержать:

- титульный лист установленного образца;
- цель работы;
- кратко изложенные теоретические положения;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- порядок выполнения работы;
- две таблицы измеренных и рассчитанных величин;

- два графика;
- анализ результатов и выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется пассивностью металлов?
2. Что называется легированием металлов?
3. Что такое объемный, весовой и глубинный показатель скорости коррозии? Каковы их размерности?
4. Записать уравнение катодной деполяризационной реакции, протекающей в кислой среде.
5. При какой концентрации азотной и серной кислот наблюдается пассивация сталей?
6. Чем объясняется коррозионная стойкость хромистых сталей?
7. Какое значение может принимать потенциал железа при наступлении пассивного состояния? Каково значение стандартного потенциала железа?
8. Каково минимальное содержание хрома в хромистых сталях, используемых в агрессивных средах в химической промышленности?
9. Как влияет на структуру стали добавка никеля?
10. Какие добавки вводят в легированные стали для уменьшения их склонности к межкристаллитной коррозии?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – 376 с.
2. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. – М.: Металлургия, 2006. – 472 с.
3. Томашов, Н. Д. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов. / Н. Д. Томашов, Жук Н. П., Титов В. А. – М.: Металлургия, 1971. – 280 с.

Лабораторная работа №4. Электрохимическое цинкование

1. Цель работы

Цель работы – электролитическое получение цинкового покрытия при заданном режиме с последующим определением выхода металла по току, толщины слоя и качества покрытия.

2. Теоретические положения

Цинкование — это нанесение цинка или его сплава на металлическое изделие для придания его поверхности определённых физико-химических свойств, в первую очередь высокого сопротивления коррозии. Цинкование — наиболее распространённый и экономичный процесс металлизации, применяемый для защиты железа и его сплавов от атмосферной коррозии. На эти цели расходуется примерно 40 % мировой добычи цинка. Толщина покрытия должна быть тем больше, чем агрессивнее окружающая среда и чем длительнее предполагаемый срок эксплуатации.

Цинк – серебристо-белый, в нормальных условиях довольно хрупкий металл плотностью $\sim 7,1$ г/см³ и температурой плавления около 420 °С. Так же, как и железо, цинк относится к группе металлов повышенной термодинамической нестабильности, Стандартный электродный потенциал $E_{\text{Zn/Zn}^{2+}} = -0,76$ В.

Вода почти не действует на цинк. Это объясняется тем, что при взаимодействии цинка с водой на его поверхности образуется гидроксид, который практически не растворим и препятствует дальнейшему течению реакции. Даже в слабокислой среде коррозия чистого цинка замедлена, что связано с достаточно высоким значением перенапряжения выделения водорода на цинке (~ 1 В). При содержании в цинке сотых долей процента примесей таких металлов, как, например, медь и железо, имеющих меньшее значение перенапряжения выделения водорода (соответственно 0,6 и

0,5 В), скорость взаимодействия цинка с кислотами увеличивается в сотни раз.

На воздухе цинк окисляется, покрываясь тонкой, но прочной пленкой оксида или основного карбоната цинка. Эта пленка надежно защищает его от дальнейшего окисления и обуславливает высокую коррозионную стойкость.

В противоположность этому ржавчина, например, не образует сплошной пленки на поверхности железа и между отдельными кристаллами гидратированного оксида трехвалентного железа, имеются большие просветы, наличием которых и объясняется склонность железа к прогрессирующей коррозии.

Высокие противокоррозионные свойства цинка при нанесении его на железо (сталь) обусловлены еще и тем, что цинк имеет электрохимический потенциал ниже, чем железо, поэтому в электрохимической паре цинк-железо, возникающей в присутствии воды (влаги), цинк выполняет роль анода и растворяется, а металлическая подложка (железо) роль катода:



В результате чего имеет место пассивация стали за счет подщелачивания.

Ионы цинка реагируют с диоксидом углерода, находящимся в воздухе. Это сопровождается образованием плотных слоев нерастворимых карбонатов цинка, тормозящих дальнейшее развитие коррозионного процесса.

Широкое применение в технике защиты от коррозии имеют металлопокрытия, полученные электролитическим методом — анодные и катодные. Потенциал защитного металла анодного покрытия (цинк, кадмий) более электроотрицателен, чем потенциал основного металла (стали). В этом случае сталь защищается от коррозии не только механически, но и электрохимически, так как, являясь анодом, покрытие корродирует и катодно поляризует и тем защищает открытые участки (поры) стали. Потенциал катодных покрытий (свинец, олово, никель и др.) более положителен,

чем потенциал стали; следовательно, сталь разрушаться не будет только до тех пор, пока защитный слой остается сплошным, так как катодное покрытие защищает основной металл в активных средах только механически.

Как у анодных, так и у катодных покрытий с увеличением толщины слоя уменьшается пористость, поэтому толщина слоя является весьма важной характеристикой покрытий.

Пористость покрытия зависит от качества подготовки поверхности образца перед покрытием и от чистоты электролита. Оставшиеся на поверхности образца жиры и окислы, а также взвешенные частицы в электролите увеличивают пористость покрытия. Чем больше газовыделение на образце в процессе его покрытия, тем больше пор в покрытии.

Электролитический метод нанесения металлического покрытия состоит в электролизе растворов, содержащих соль осаждаемого металла. Анодом служит металл покрытия, катодом — образец (изделие). Под действием постоянного электрического тока, получаемого от внешнего источника, на катоде, куда притекают из внешней цепи электроны, происходит разряд положительно заряженных ионов металла из раствора и образование металлопокрытия. Растворяющийся при электролизе анод посылает в раствор положительно заряженные ионы металла, поддерживая тем самым постоянство их концентрации.

Количественно электролиз подчиняется законам Фарадея, на основании которых можно подсчитать выход по току, толщину слоя металлопокрытия и время для получения слоя защитного металла заданной толщины.

Для электрохимического цинкования применяют различные электролиты, из которых наибольшее распространение получили кислые (сульфатные, фторборатные).

Из кислых электролитов цинк выделяется на катоде в результате разряда простых гидратированных ионов. В электролитах без добавок процесс протекает при низкой катодной поляри-

зации, что приводит к осаждению крупнокристаллических покрытий. Такие электролиты имеют низкую рассеивающую способность и применяются для нанесения покрытий на листовую сталь (полосу), проволоку при высоких плотностях тока. Для получения более мелкокристаллических покрытий к электролиту добавляют органические добавки, например декстрин. Рассеивающая способность в присутствии добавок также повышается. Для увеличения электропроводимости в эти электролиты добавляют сульфаты или хлориды щелочных металлов. Обычно кислотность простых электролитов имеет небольшой диапазон в пределах $pH = 3,5 \div 4,5$. При увеличении кислотности катодный выход по току падает вследствие увеличения скорости выделения водорода, а анодный возрастает вследствие коррозии цинкового анода.

Кислые электролиты обладают рядом ценных свойств: они устойчивы в работе, не ядовиты, допускают применение высоких плотностей тока, особенно при перемешивании.

3. Методика и порядок проведения работы

Собирают установку для цинкования по схеме, изображенной на рис.5.

Термостат 1 заполняют до половины холодной водой. В стеклянный стакан 3 наливают электролит для цинкования (0,8 л) и ставят стакан в термостат.

Стальные образцы зачищают наждачной бумагой (крупной, затем мелкой), промывают горячей водой с кальцинированной содой, затем ополаскивают холодной водой, просушивают в сушильном шкафу. Обезжиривают образцы ацетоном и взвешивают на аналитических весах.

Подготовленные образцы закрепляют в катодных клеммах 6. В анодной клемме закрепляют цинковую пластину 7. Крышкой 2 с закрепленными катодами и анодом осторожно закрывают термостат.

Подключают источник питания 8 и устанавливают переключатель напряжения в заданное положение. При проведении

опыта замеряют температуру электролита с помощью термометра 4 и силу тока с помощью амперметра на источнике питания. Продолжительность цинкования 30 мин, плотность тока $0,0075 \div 0,0125 \text{ A/cm}^2$.

По истечении заданного времени выключают ток, осторожно поднимают крышку с электродами и закрепляют ее на штативе 5, отсоединяют стальной катод 6, промывают холодной водой, сушат фильтровальной бумагой и в сушильном шкафу при температуре $100 \div 120 \text{ }^\circ\text{C}$. Высушенные образцы взвешивают на аналитических весах. Измеряют штангенциркулем размеры полученного цинкового покрытия. Оценивают качественные характеристики покрытия (цвет, блеск, шероховатость, равномерность).

Результаты измерений записывают в таблицу.

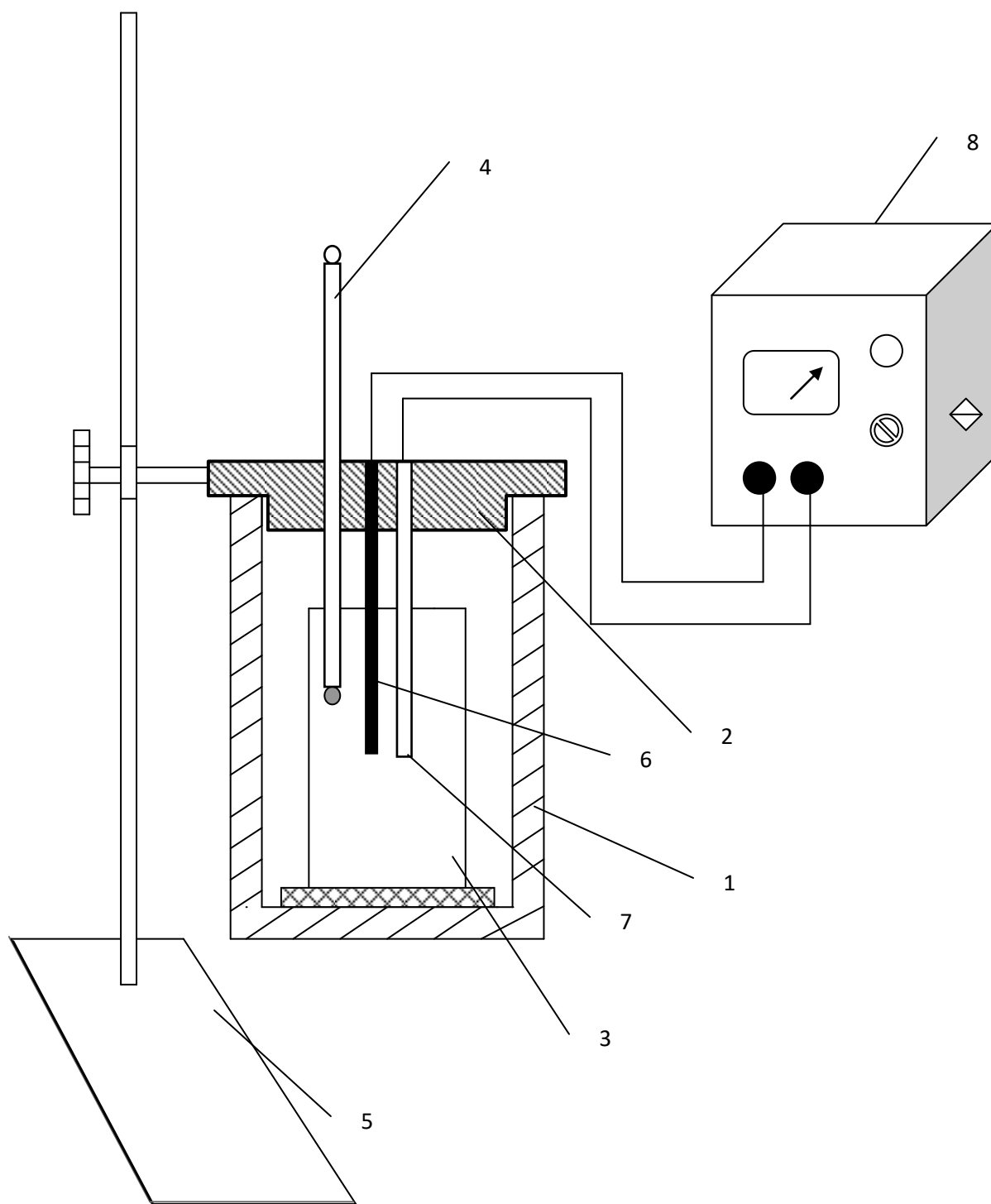


Рис.5. Схема установки

1 – термостат; 2 – крышка термостата; 3 – стеклянный стакан с раствором электролита; 4 – термометр; 5 – штатив; 6 – стальной катод; 7 – цинковый анод; 8 – источник постоянного тока

Номер образца	Вес образца без покрытия, г	Вес образца с покрытием, г	Масса выделившегося металла, г	Размеры покрытия, мм	Поверхность покрытия, см ²	Напряжение, В	Сила тока, А	Плотность тока, А/дм ²	Температура электролита, °С	Время цинкования, мин	Средний выход металла по току, η %, ф. (1)	Толщина покрытия по весовому методу (3), мкм	Толщина покрытия расчетная, по ф. (2), мкм	Качественные характеристики покрытия (цвет, блеск, шероховатость, равномерность)

4. Обработка опытных данных

Средний выход металла по току рассчитывают по формуле

$$\eta = \frac{m}{I\tau C} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где m – масса фактически выделившегося металла, г; I – сила тока во время электролиза, А; τ – продолжительность электролиза, ч; C – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/(А·ч). Для цинка $C = 1,22$ г/(А·ч).

Толщину слоя покрытия вычисляют по формулам

$$h = \frac{i_k \tau C \eta 10000}{\rho} , \text{ мкм}, \quad (2)$$

где h – толщина покрытия, мкм; ρ – плотность цинка, г/см³;

i_k – катодная плотность тока, А/см², $i = \frac{I}{S}$;

$$h = \frac{m}{S\rho} 10000 , \quad (3)$$

где h – толщина покрытия, мкм; m – масса фактически выделившегося металла, г; S – поверхность полученного цинкового покрытия, см².

Сопоставляют значения толщины слоя покрытия, полученные по формуле (2) и (3), и объясняют причины расхождения.

Оценивают изменение количественных и качественных характеристик полученных покрытий и отмечают это в выводе.

5. Правила безопасной работы

1. Проводить эксперимент обязательно в халате.
2. Вынимать из клемм образцы только после отключения источника тока.
3. Сливать раствор для цинкования из стакана по окончании опыта обязательно в соответствующую склянку.
4. При попадании на руки раствора необходимо тщательно промыть их большим количеством проточной воды.
5. При попадании растворов на одежду, кожу и окружающие предметы – тщательно промывают водой.
6. Вынутые из клемм катоды необходимо сразу поместить в подготовленный стакан с водой, а затем тщательно промыть проточной водой.

6. Требования к отчету

Отчет оформляется на листах формата А4 (297×210 мм) с рамками и штампами и должен содержать:

- титульный лист установленного образца;
- цель работы и кратко изложенные теоретические положения;
- эскиз установки с краткой экспликацией;
- порядок выполнения работы;
- таблицу с результатами эксперимента;
- примеры расчетов;
- анализ результатов эксперимента и выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. С какой целью наносят на поверхность стальных изделий цинковые покрытия?
2. Электрохимическая характеристика цинка.
3. От чего зависят свойства и толщина цинковых покрытий?

4. Как устроена лабораторная установка для электрохимического цинкования?

5. Какими методами определяются в работе толщина полученного цинкового покрытия?

Список рекомендуемой литературы

1. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – 376 с.

2. Томашов, Н. Д. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов / Н. Д. Томашов, Н. П. Жук, В. А. Титов. – М.: Металлургия, 1971. – 280 с.

3. Бахчисарайцян, Н. Г. Практикум по прикладной электрохимии / Н. Г. Бахчисарайцян, Ю. В. Борисоглебский, Г. К. Буркат [и др.] – 3-е изд. – Л.: Химия, 1990. – 304 с.

4. Грилихес, С. Я. Электролитические и химические покрытия: Теория и практика / С. Я. Грилихес, К. И. Тихонов. – Л.: Химия, 1990. – 288 с.

5. Гальванотехника: справочник. – М.: Металлургия, 1987. – 735 с.

6. Защитные покрытия: учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардолина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

7. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник. В 2т./ Под ред. М. А. Шлугера. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

8. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия, Справочник по применению.: М. – ТЕХНОСФЕРА, 2006. – 215 с.

Методические указания к самостоятельной работе

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

“Защита от коррозии” – специальный курс в подготовке инженера-бакалавра по проектированию, эксплуатации и ремонту теплоэнергетического оборудования. Его основная задача – научить студента грамотно и обоснованно производить выбор конструкционного материала или способа защиты конструкции, исходя из конкретных условий эксплуатации и агрессивности обрабатываемой среды.

В курсе излагаются теоретические и практические аспекты поведения конструкционных материалов в разнообразных условиях работы теплоэнергетического оборудования промышленных предприятий. Основу составляет изучение химического и электрохимического взаимодействия металлов с жидкими и газообразными средами.

Наука о коррозии металлов базируется на двух смежных дисциплинах – материаловедении и физической химии – и занимается установлением общих закономерностей разрушения структуры металла под воздействием окружающей среды. Практическое направление науки о коррозии – поиск возможных путей и способов защиты современной техники от коррозионного разрушения.

При самостоятельной работе рекомендуется использовать учебники и учебные пособия, указанные в разделе 4.

2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Тема 1. Введение

Предмет и задачи курса. Определение термина “коррозионный процесс”. Классификация коррозионных процессов по механизму взаимодействия, по условиям протекания и по характеру изменения поверхности материала.

Соотношение в масштабах производства основных конструкционных материалов. Масштабы коррозии и причиняемые ею убытки. Народнохозяйственное значение борьбы с коррозией.

Методические указания

Изучение курса следует начать с определения понятия “коррозионный процесс”, выявления причин его возникновения и движущей силы. Необходимо разобраться в многообразии коррозионных процессов и принципах их классификации.

Следует рассмотреть связь научно-технического прогресса в технике и технологии с развитием и совершенствованием конструкционных материалов. Показать на конкретных примерах, что при выборе конструкционного материала наряду с прочностными показателями следует учитывать и характеристики его коррозионной стойкости.

Необходимо проанализировать тенденции производства основных конструкционных материалов, выяснить, почему металлы и сплавы останутся наиболее важными материалами в ближайшем будущем.

Оценить масштабы коррозии металлов в мире и в России, прямые и косвенные убытки. Привести примеры экономической эффективности мероприятий по противокоррозионной защите химического оборудования.

Контрольные вопросы

1. Что такое коррозионный процесс и каковы его характерные особенности?
2. Требования к конструкционным материалам теплоэнергетического оборудования.
3. Основные принципы классификации коррозионных процессов.
4. К какому типу процесса – гомогенному или гетерогенному – относится коррозия?
5. Приведите определение химической и электрохимической коррозии.

6. Что называют косвенными убытками от коррозии и каковы их масштабы?
7. Что такое ржавление?
8. Что называется фреттинг-коррозией?

Литература: [1, с.4-9; 2, с.8-16; 3, с.8-15].

Тема 2. Физические методы контроля коррозионных разрушений

Классификация методов коррозионных исследований по общему характеру исследований, по их продолжительности и по методам оценки. Способы выражения скорости коррозии. Классификация металлов и сплавов по коррозионной стойкости - десятибалльная шкала стойкости.

Методические указания

Практической целью коррозионных испытаний является определение долговечности данного материала в определенных условиях. Кроме того устанавливается влияние основных внутренних и внешних факторов на коррозионную стойкость материала. По результатам коррозионных испытаний возможен выбор наилучшего материала для применения в определенных эксплуатационных условиях.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию физических методов контроля коррозионных разрушений по общему характеру исследований, по их продолжительности и по методам оценки.
2. Дайте определение основных показателей скорости коррозии, запишите формулы для их расчета и размерности величин.
3. По какому показателю строится десятибалльная шкала стойкости металлов и сплавов?
4. Приведите примеры

Литература: [1, с.9-15; 2, с.141-149; 3, с.426-472].

Тема 3. Электрохимическая коррозия

Условия возникновения электрохимической коррозии. Образование локальных гальванических элементов. Основные типы гальванических пар, участвующих в коррозионных процессах. Ряд напряжений. Электрохимические ряды.

Причины возникновения электрохимической гетерогенности (общие и конкретные).

Методические указания

Процессы, протекающие на границе металл-электролит. Двойной электрический слой (ДЭС) и его характеристики. Электродные потенциалы металлов и способы их измерения. Обратимые и необратимые электродные потенциалы. Уравнение Нернста. Рассмотреть общие и конкретные причины возникновения электрохимической гетерогенности.

Контрольные вопросы

1. Приведите известные вам примеры из технологической практики, которые сопровождаются ЭХК аппаратуры.
2. Как образуется двойной электрический слой? Опишите его строение.
3. На основании каких термодинамических величин можно сделать заключение о возможности протекания коррозии?
4. Как характеризует положение металла в ряду напряжений его химическую активность и термодинамическую стойкость?
5. Каковы общие и конкретные причины возникновения электрохимической гетерогенности?
6. В какой среде (кислой, щелочной, нейтральной) легче протекает процесс коррозии с водородной деполяризацией и почему?

Литература: [1, с.15-24; 2, с.67-92; 3, с.149-188].

Тема 4. Коррозия железа и стали

Влияние содержание кислорода и pH среды на скорость коррозии стали. Влияние гальванических контактов. Влияние растворенных солей. Влияние состава стали. Влияние термической обработки. Влияние термических напряжений.

Методические указания

Железоуглеродистые сплавы, несмотря на термодинамическую неустойчивость, находят большое применение в промышленности в качестве конструкционных материалов. На потенциал железа оказывает большое влияние кислород и другие окислители. На скорость коррозии железо-углеродистых сплавов оказывают влияние pH раствора, характер катионов и анионов, термические воздействия, механические воздействия.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте электрохимические свойства железа.
2. Что такое ржавчина? Обладает ли она защитными свойствами?
3. Какие сплавы называются сталями?
4. Охарактеризуйте коррозионные свойства железа и низколегированных сталей в минеральных и органических средах.
5. Добавки каких элементов повышают коррозионные свойства сталей?
6. Что называется легированием и с какой целью его проводят?
7. Как влияет хром на коррозионные свойства сплавов?

Литература: [1, с.38-45; 2, с.99-112; 3, с.324-345].

Тема 5. Коррозия металлов в водных средах

Факторы, определяющие коррозионную агрессивность водных сред. Коррозия в пресной и очищенной воде. Способы деаэрации и обескислороживания воды.

Методические указания

Вода относится к числу наиболее распространенных в природе веществ. Она играет исключительно важную роль в различных отраслях промышленности, в том числе и в теплоэнергетике.

Вода способна растворять многие вещества. При растворении в воде кислотных и щелочных окислов образуются соответствующие кислоты и гидроксилы. Минерализация, содержание газов, примесей, мутность, окисляемость воды различна.

Вода, используемая для технологических целей подвергается химической и термической обработке для удаления солей, кремниевой кислоты, растворенных газов, органических веществ. Рассмотреть основные способы очистки воды механическими, физическими, химическими и электрохимическими методами.

Контрольные вопросы

1. Каковы физические и химические свойства воды?
2. На какие группы делятся природные воды по происхождению?
3. Как различаются окисляемость и жесткость артезианских и речных вод?
4. Каковы химические, физические и физико-химические методы дегазации воды?
5. Какие виды жесткости воды различают?
6. Реагентные и безреагентные методы умягчения воды.

Литература: [1, с.110-113; 2, с.297-298; 3, с.341-362; 6, с.18-37; 8, с. 25-41; 9, с. 5-24, 101-124].

Тема 6. Высокотемпературная коррозия

Механизм окалинообразования. Причины разрушения оксидных пленок легированной стали при воздействии оксидов ванадия, молибдена, бора. Меры борьбы с высокотемпературной коррозией. Применение жаростойких сплавов.

Методические указания

С повышением температуры процессы окисления металлов протекают значительно быстрее, несмотря на уменьшение их термодинамической возможности. Характер влияния температуры на коррозионный процесс может быть оценен экспоненциальным законом Аррениуса. Как правило, колебания температуры способствуют протеканию коррозии вследствие воздействия термических напряжений на защитные пленки.

При определенных условиях, зависящих от природы металла и газовой среды, возникает явление высокотемпературной пассивации, характеризующейся значительным снижением скорости окисления поверхности. Это явление используется на практике как один из методов повышения жаростойкости сплава.

Рассмотреть влияние различных факторов на скорость высокотемпературной коррозии. Жаростойкость и жаропрочность. Требования, предъявляемые к защитным пленкам. Возможность образования сплошной беспористой окисной пленки на металле определяется соотношением объемов металла и образующегося окисла. Линейный закон роста окисной пленки на металле. Прогнозирование защитных свойств пленок.

Контрольные вопросы

1. Каким образом происходит образование оксида на поверхности металла?
2. Охарактеризуйте свойства поверхностных пленок на железе.
3. Какое строение имеет окалина?
4. При каких условиях протекает “рост чугуна”?
5. Каковы основные принципы жаростойкого легирования?

6. Приведите примеры жаростойких сталей.
7. Что такое жаропрочность и жаростойкость?

Литература: [1, с.81-85; 2, с. 42-64, 3, с.111-118; 9. с. 220-248].

Тема 7. Коррозия металлов в почве

Влияние состава почвы и содержания влаги. Влияние пористости и электропроводности, содержания растворимых солей. Меры борьбы с почвенной коррозией.

Методические указания

Коррозионный процесс в грунте протекает в условиях недостатка кислорода, что приводит к торможению катодного процесса. Наличие в почве микроорганизмов и действие блуждающих токов усиливает коррозионное разрушение металла.

Контрольные вопросы

1. Какие закономерности характеризуют почвенную коррозию, каков ее механизм?
2. Как влияет наличие в почве бактерий на развитие коррозионных процессов в этой среде?
3. Как влияют блуждающие токи на ускорение почвенной коррозии?
4. Как влияет увлажненность грунта на скорость коррозии.
5. Каковы основные меры борьбы с почвенной коррозией?

Литература: [1, с.62-70; 2, с. 153-157, 3, с.384-397; 14, с. 52-73, 105-211].

Тема 8. Защита от коррозии систем теплоснабжения

Стабилизационная очистка воды. Защита систем горячего водоснабжения. Защита подпиточного и сетевого тракта.

Методические указания

Коррозионную активность природных жестких вод можно существенно понизить путем стабилизации. Для защиты систем горячего водоснабжения применяют мероприятия конструктивного характера, подбирают соответствующий коррозионностойкий металл и необходимые защитные покрытия.

Контрольные вопросы

1. Каков основной тип повреждений трубопроводов от внутренней коррозии?
2. Каково расположение основных повреждений трубопроводов?
3. На каких трубопроводах чаще возникают повреждения – на подающих или обратных? Каковы причины отличий?
4. Как влияет рН воды на скорость общей коррозии углеродистых сталей в аэрированной воде?
5. Объясните влияние содержания кислорода в воде.
6. Каково влияние завоздушивания тепловых сетей?
7. Каковы причины образования отложений на внутренней поверхности труб?

Литература: [1, с.115-117; 6, с. 40-69, 8, с.81-219; 9, с.164-205].

Тема 9. Коррозия и защита теплоэнергетического оборудования.

Нормирование чистоты воды и пара для оборудования различных типов. Коррозия конденсатно-питательного тракта. Коррозия прямооточных и барабанных котлов. Коррозия турбин. Использование ингибиторов и других химических реагентов при консервации котлотурбинного оборудования.

Методические указания

Конденсатно-питательный тракт современных ТЭС включает значительное количество элементов оборудования, подверга-

ющихся коррозии под действием растворенных в воде кислорода и угольной кислоты. Все виды оборудования контактируют с водой, подготовленной химическими или термохимическими методами, конденсатом и питательной водой, состав которой в зависимости от водоподготовки может существенно различаться по содержанию. Добавочная и питательная вода котлов низкого, среднего и высокого давления может содержать сульфаты, хлориды и бикарбонаты натрия до нескольких десятков миллиграмм на килограмм. В питательной воде прямоточных котлов на критических параметрах пара суммарное содержание примесей не должно превышать 100 мкг/кг.

Контрольные вопросы

1. Запишите уравнения образования магнетитовых отложений на поверхностях котлов.
2. Что такое “водородная хрупкость”?
3. Какие факторы способствуют разрушению защитных пленок на металлических поверхностях?
4. Назовите основные причины коррозии газового тракта котельных установок.
5. Условия образования непористой окалины.
6. Виды коррозионных разрушений лопаток турбин.
7. Нормы качества питательной воды и пара барабанных котлов.
8. Нормы качества питательной воды прямоточных котлов.

Литература: [1, с.117-120; 6, с.71-84; 7, с. 5-131; 8, с. 169-208; 9, с. 164-186].

Тема 10. Защитные покрытия металлов

Области применения. Подготовка поверхности металла перед нанесением покрытия. Методы нанесения металлических покрытий: металлизация, плакирование; гальванические, диффузионные и горячие покрытия. Новые способы нанесения покрытий: ультразвуковая и вакуумная металлизация, газотермические защитные покрытия. Неорганические покрытия, области приме-

ния. Силикатные эмали. Цементные покрытия. Фосфатные покрытия. Оксидные покрытия. Органические покрытия. Лакокрасочные покрытия. Гуммирование. Полимерные покрытия.

Методические указания

Защитные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям: должны быть сплошными, непроницаемыми, обладать высокой прочностью сцепления с основным металлом, высокой твердостью, износостойкостью и равномерно распределяться по всей защищаемой поверхности. Высокая адгезия достигается в результате тщательной подготовки поверхности металла. Рассмотреть способы подготовки поверхности металла перед нанесением покрытия. Изучить технологии основных способов нанесения защитных покрытий. В качестве основных средств защиты гидросооружений используют лакокрасочные покрытия. Для защиты от биологического обрастания применяются противообрастающие эмали.

Контрольные вопросы

1. Способы подготовки поверхности металла перед нанесением защитных покрытий.
2. Назовите достоинства и недостатки защитных покрытий, получаемых металлизацией и горячим способом.
3. Какие металлы возможно наносить горячим способом?
4. Что такое алитирование и силицирование?
5. При каких температурах проводится термохромирование?
6. Какова толщина защитного слоя при плакировании?

Литература: [1, с.87-103; 2, с.262-286; 8, с. 219-226; 9, с. 38-56; 14, с. 105-211].

Тема 11. Методы электрохимической защиты металлов от коррозии

Катодная защита. Плотность тока защиты. Протекторная защита. Анодная защита. Области применения и ограничения на ее использование.

Методические указания

Электрохимическая защита металлов от коррозии осуществляется поляризацией от внешнего источника тока или путем соединения с металлом (протектором), имеющим более отрицательный или более положительный потенциал, чем у защищаемого металла (катодная или анодная защита).

Для эффективной работы протектора необходимо, чтобы переходное сопротивление было минимальным. Критериями катодной защиты являются защитный потенциал и защитная плотность тока.

Контрольные вопросы

1. Когда впервые применили протекторную защиту?
2. Какие металлы используют в основном в качестве протекторов?
3. Какую засыпку используют для уменьшения переходного сопротивления между анодом и почвой?
4. Что такое защитный потенциал?
5. Что такое защитная плотность тока?
6. В каких условиях катодная защита нецелесообразна?
7. Какие материалы используют для изготовления анодов?
8. Как рассчитывается эффективной катодной и протекторной защиты?
9. Что такое кислородная защита?

Литература: [1, с.70-76; 2, с.288-296; 9, с. 56-79; 14, с. 239-284].

Тема 12. Ингибиторная защита

Основные способы ингибиторной защиты. Оценка эффективности действия ингибиторов. Катодные и анодные неорганические ингибиторы. Ингибиторы смешанного действия. Механизм действия органических ингибиторов. Область использования ингибиторной защиты.

Методические указания

Коррозия металлов, протекающая в водной среде, имеет электрохимическую природу. Введение в коррозионную среду небольших количеств ингибиторов приводит к повышению коррозионной стойкости металла за счет физической или химической адсорбции молекул или ионов ингибиторов поверхностью металла и изменения кинетики электрохимических реакций. Рассмотреть классификацию ингибиторов. При выборе ингибиторов следует учитывать природу металла и тип коррозионной среды. На эффективность действия ингибиторов влияет степень адсорбции поверхностью металла, прочность сцепления адсорбированного слоя, кислотность среды.

Контрольные вопросы

1. Что называется ингибиторами? Каков механизм их действия?
2. Какие неорганические ингибиторы вам известны? На чем основан их принцип действия?
3. Приведите примеры органических ингибиторов и укажите область их применения.
4. Что такое парофазные ингибиторы?
5. Как осуществляется консервация металлических конструкций с помощью парофазных ингибиторов?
6. Какие требования предъявляются к ингибиторам коррозии для систем теплоснабжения?

Литература: [1, с. 103-106; 2, с. 298-312; 8, с. 208-219; 9, с. 79-100].

3. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Контрольное задание следует рассматривать как итоговое задание, характеризующее степень и качество изучения дисциплины в период самостоятельной подготовки. Решение задания оформляется в виде пояснительной записки объемом 2-3 с. рукописного или компьютерного текста. Ниже приводится текст задания и таблица параметров, характеризующих условия эксплуатации объекта.

Задание. Провести обоснованный выбор материалов, коррозионностойких в условиях, указанных в таблице на основании данных, содержащихся в справочной литературе [9-14]. В целях повышения достоверности сведения о возможных скоростях коррозии желательно брать из нескольких источников. Описать предполагаемый механизм коррозионного разрушения и оценить возможную скорость коррозии. Оценка скорости коррозии, как правило, осуществляется по максимальным значениям.

Выяснить и описать технологические свойства материала, указав характеристики свариваемости, деформируемости. Возможность механической обработки и т.д. Здесь же приводятся сведения о полуфабрикатах, изготавливаемых из данного материала, их дефицитности и стоимости. Дается заключение об области предпочтительного использования. В заключение приводятся расчеты глубины проникновения (или материального эффекта) коррозионного процесса за период эксплуатации конструктивных материалов.

Исходные данные для выполнения контрольного задания

№ задания	Среда	Температура, °С	Период эксплуатации, год
1	10% р-р азотной кислоты	75	5
2	40% р-р хлорного железа	60	10
3	60% р-р фосфорной кислоты	Кип	12

4	20% р-р сульфата натрия	50	15
5	45% р-р сернокислого аммония	35	20
6	30% уксусной кислоты	50	12
7	20% муравьиной кислоты	40	16
8	15 % р-р соляной кислоты	85	5
9	10 % р-р гидроксида натрия	80	8
10	5 % р-р серной кислоты	Кип	6

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

а) основная литература:

1. Старикова, Е.Ю. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии / Е. Ю. Старикова. – Кемерово, КузГТУ, 2008. – 124 с.

2. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2010. – 376 с.

б) дополнительная литература:

3. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. – М.: Альянс, 2014. – 472 с.

4. Пустов, Ю.А. Коррозия и защита металлов в водных средах [Электронный ресурс] : практикум / Ю. А. Пустов, Б. В. Кошкин, А. Е. Кутырев ; Моск. гос. ин-т стали и сплавов. - М. : УЧЕБА, 2005. - 102 с.

5. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы / Н. Д. Томашов – М.: Металлургия, 1986. – 358 с.

6. Акользин, П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водо- и теплоснабжения. / П.А. Акользин – М.: Металлургия, 1988. – 95 с.

7. Акользин, П.А. Предупреждение коррозии металла паровых котлов / П.А. Акользин – М.: Энергия, 1975. – 294 с.

8. Балабан-Ирменин, Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Ю.В. Балабан-Ирменин, В.М. Липовских, А.М. Рубашов. – 2-е изд. – М.: Изд-во “Новости теплоснабжения”, 2008. – 280 с.

в) справочная литература

9. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел. Справочное руководство / Под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1988– 360 с.

10. Справочник по конструкционным материалам / под ред. В. Г. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ, 2005. – 638 с.

11. Воробьева, Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах / Г. Я. Воробьева. – М.: Химия, 1975. – 816 с.

12. Туфанов, Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов / Д. Г. Туфанов. – М.: Металлургия, 1990. – 320 с.

13. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

14. Стрижевский, И.В. Защита подземных металлических сооружений от коррозии: справочник / И.В. Стрижевский – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.