

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине **«Новые технологии производства материалов
и продуктов»** для студентов всех форм обучения

Составитель В. Э. Суровая

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 5 от 17.11.2017
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 18.03.01
Протокол № 4 от 29.11.2017
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2017

ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторных работ по дисциплине «Новые технологии производства материалов и продуктов» – закрепление теоретического материала, проведение и анализ определенных исследований в рамках предложенной тематики. Лабораторные работы стимулируют познавательный интерес студентов, развивая как интеллектуальные умения и навыки, так и практические.

В результате изучения дисциплины «Новые технологии производства материалов и продуктов» формируется современное мировоззрение в области технологии, развивается у студентов творческое мышление для решения практических задач.

Текущий контроль проводится на 5, 9, 13 и 17 неделях семестра в виде опроса по контрольным вопросам к лабораторным работам и проверке отчетов по лабораторным работам.

ПЛАН ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п/п	Наименование работы
	8 семестр (очная форма) / 9 семестр (заочная форма)
1	Противокоррозионная защита металлов ингибиторами пленкообразователями.
2	Металлические противокоррозионные покрытия.
3	Оксидирование железа щелочным и кислотным растворами.
4	Химическое оксидирование алюминиевых сплавов.
5	Химическое оксидирование меди и ее сплавов.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения и оформления лабораторных работ.

При подготовке к лабораторным занятиям студент в обязательном порядке изучает теоретический материал в соответствии с методическими указаниями к лабораторным занятиям.

Для выполнения лабораторных работ студенты объединяются в бригады по два человека; состав бригады сохраняется на все время выполнения практикума. Если нет специальных указаний преподавателя, опыты должны проводиться в точном соответствии с их описанием.

По окончании каждого занятия, перед уходом из лаборатории, студент должен привести в порядок свое рабочее место и предъявить преподавателю результаты работы, позволяющие судить о качестве ее выполнения.

Отчеты по лабораторным работам составляются каждым студентом индивидуально в последовательности, приведенной в данных методических указаниях с обязательным представлением и обсуждением результатов выполнения лабораторной работы в обработанном виде (таблицы, графики, рисунки, схемы и т.д.) и выводов. Затем отчеты по каждой лабораторной работе собираются в общий отчет по теме в соответствии с перечнем лабораторных работ.

По результатам работы предложены контрольные вопросы, на которые студенты должны ответить. Защита лабораторной работы проводится по результатам после её выполнения по предложенным вопросам.

Требования к отчету по лабораторным работам.

На обложке лабораторного журнала должна быть записана фамилия студента и номер группы. Запись в журнале начинается с указания номера и названия лабораторной работы, а также даты ее выполнения. Записи должны быть краткими и четкими. Отчет представляется в бумажном виде.

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Запись данных опыта.
4. Уравнения протекающих химических реакций.
5. Основные расчетные формулы.
6. Графики, таблицы – если требуется по заданию.
7. Наблюдения и выводы.

Лабораторная работа № 1

ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ИНГИБИТОРАМИ ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Цель работы: Ознакомиться с химическими методами получения противокоррозионных покрытий, на основе ингибиторов пленкообразователей.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Многие металлические и неметаллические материалы подвержены *коррозии*, т.е. самопроизвольному разрушению в результате химического, электрохимического и биологического воздействия окружающей среды. Коррозия наносит огромный ущерб мировой хозяйственной системе, причем он тем больше, чем выше уровень промышленного развития страны.

Протекание коррозионных процессов сводится в итоге к окислению металлов. При этом молекулы различных веществ вступают в химические реакции с атомами металла с образованием термодинамически более устойчивых продуктов (оксидов, гидроксидов, сульфидов). Они в значительной степени определяют долговечность изделий. Рыхлые неравномерно распределенные на поверхности оксиды или другие продукты ускоряют коррозионные процессы, а плотные равномерно распределенные оксидные пленки, имеющие хорошее сцепление с металлом, защищают его от разрушения.

По механизму различают два основных типа коррозии: химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия происходит в результате взаимодействия металла с окисленными газами (кислородом, галогенами, сероводородом, диоксидом серы и др.) при повышенной температуре или жидкими не электролитами (бензином, маслом и т. д.).

Электрохимическая коррозия возникает при контакте металла с растворами электролитов (во влажном воздухе, в почве, в любых водных растворах электролитов). В основе теории электрохимической коррозии лежит понятие о коррозионных микрогальванических элементах, действующих на поверхности металла при его контакте с электролитом. При этом на катодных участках поверхности протекают восстановительные полуреакции коррозионного процесса, а на анодных – окислительные. Появление микрогальванических элементов обусловлено гетерогенностью поверхности металла, что повышает их химическую активность. Чистые металлические поверхности практически всех металлов, соприкасающиеся с атмосферой, содержащей кислород, немедленно покрываются пленками своих оксидов. Металлы, в ряду напряжений до водорода, вытесняют его из кислот.

При этом на поверхности некоторых металлов образуются защитные оксидные или солевые пленки, тормозящие реакцию. Явление глубокого торможения окисления металла называется *пассивностью*, а состояние металла при этом – *пассивным состоянием*.

Методы борьбы с коррозией основаны на:

1) изменении свойств агрессивной среды, добавляя в нее небольшие количества веществ – замедлителей коррозии, называемых ингибиторами;

2) изменении свойств корродирующего металла путем легирования, т. е. введения в его состав определенных компонентов (хрома, никеля, вольфрама и др.), вызывающих пассивирование металла;

3) применении электрохимической защиты путем присоединения объекта к отрицательному полюсу источника тока (катодная защита) или металлических протекторов, имеющих более отрицательный электродный потенциал;

4) изолировании металла от среды путем создания на его поверхности защитной пленки.

В качестве покрытий используют различные материалы: металлические (*анодные и катодные*) и неметаллические пленки (фосфатные, силикатные, нитридные, оксидные, а также лаки, краски, пластмассы). *Оксидная пленка* на поверхности алюминия делает его стойким не только в воде, но и в растворах некоторых кислот. *Фосфатные пленки*, образующиеся при взаимодействии металла с растворами фосфорной кислоты и ее кислых солей (дигидрофосфатов железа, марганца, цинка), обладают защитными свойствами даже при высоких температурах (до 500 °С), а кальциевофосфатные пленки выдерживают нагрев до 700–800 °С.

Фосфатные пленки, покрытые лаком, позволяют повысить коррозионную стойкость железа в $5 \cdot 10^3$ раз. Перспективными в практике противокоррозионной защиты являются методы, основанные на создании на поверхности металла пассивных пленок непосредственно из самой среды, минуя дополнительные стадии нанесения. С этой целью, например, можно дозировать в среду соответствующие *вещества ингибиторы*.

Использование *ингибиторов пленкообразователей* имеет ряд преимуществ перед другими способами противокоррозионной защиты: нет необходимости в использовании сложного и дорогостоящего оборудования; отсутствуют затраты энергии на осуществление защиты; отпадает надобность в дополнительных специальных стадиях защитной обработки, пленка формируется на всей поверхности металла; необходимые для защиты металла концентрации пленкообразователей невелики.

Методы нанесения защитных слоев можно разделить на термические, химические и электрохимические.

Термические методы применяются редко, т.к. окисление металлов при высокой температуре вызывает коробление деталей.

Химические методы нанесения покрытий осуществляют при более низких температурах и без наложения электрического тока. Электрохимические методы используют окислительно-восстановительные процессы на электродах электролизера.

ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ

Оборудование: пробирки, пипетки, воронки, водяная баня, электроплитки, фильтры.

Реактивы: индикаторы: фенолфталеин, универсальная индикаторная бумага;

Металлы: алюминий, свинец, железо.

Растворы: соляная кислота (2 н., плотностью 1,19 г/см³), серная кислота (2 н. и плотностью 1,84 г/см³), азотная кислота (2 н. и плотностью 1,4 г/см³), сульфат алюминия (2 н.), сульфат меди (0,5 н.), хлорид меди (II) (0,5 н.), нитрат свинца (0,5 н.), хлорид натрия (0,5 н.), сульфат натрия (0,5 н.), сульфат железа (II) (0,5 н., 2 н.), силикат натрия (2 н. и насыщ.), карбонат натрия (0,5 н.), гидрокарбонат натрия (0,5 н.), гексацианоферрат (II) калия (0,5 н.), гексацианоферрат (III) калия (0,5 н.), иодид калия (0,1 н.), гидроксид кальция (0,5 н.), гидроксид натрия (0,5 н. и 2 н.).

ОПЫТ 1. Защитные пленки алюминия

Алюминий относится к группе лёгких металлов. Наиболее распространенный металл и третий по распространенности химический элемент в земной коре (после кислорода и кремния).

Алюминий обладает высокой химической активностью, в электрохимическом ряду он расположен между магнием и цинком, стандартный электродный потенциал системы $\text{Al} / \text{Al}^{3+}$ равен – 1,66 В.

При нормальных условиях алюминий покрыт тонкой и прочной оксидной плёнкой и потому не реагирует с классическими окислителями: с H_2O , O_2 , HNO_3 (без нагревания), H_2SO_4 , но реагирует с HCl . Благодаря этому алюминий практически не подвержен коррозии и потому широко востребован современной промышленностью.

Однако при разрушении оксидной плёнки (например, при контакте с растворами солей аммония NH^+ , горячими щелочами или в результате амальгамирования), алюминий выступает как активный металл-восстановитель. Не допустить образования оксидной плёнки можно, добавляя к алюминию такие металлы, как галлий, индий или олово.

1.1. Растворение алюминия в водном растворе щелочи

Выполнение работы.

Внесите в пробирку кусочек алюминия и 5–8 капель 2 н. раствора гидроксида натрия. Отметьте выделение водорода.

Запись данных опыта.

Напишите уравнение реакции, протекающей при взаимодействии алюминия с раствором гидроксида натрия. Проявляет ли оксидная (гидроксидная) пленка алюминия защитные свойства в щелочной среде? Почему алюминий без оксидной пленки реагирует с водой? Наблюдается ли при этом явление пассивности?

1.2. Влияние природы иона на коррозию алюминия

Выполнение работы.

В две пробирки поместите по кусочку алюминия и добавьте в одну из них 5–8 капель 0,5 н. раствора сульфата меди, а в другую – столько же 0,5 н. раствора хлорида меди.

Запись данных опыта.

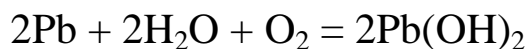
В каком случае наблюдается восстановление меди алюминием? Напишите уравнения реакций.

Какой ион является сильным активатором коррозии? В присутствии какого аниона оксидная пленка алюминия не проявляет защитных свойств?

ОПЫТ 2. Защитные пленки свинца

Свинец относится к металлам с малой химической активностью, в электрохимическом ряду он расположен между оловом и водородом, стандартный электродный потенциал системы $\text{Pb} / \text{Pb}^{2+}$ равен – 0,126 В. Поэтому в сухом воздухе при обычной температуре свинец не окисляется.

При нагревании в присутствии кислорода дистиллированная вода реагирует со свинцом:



Во влажном воздухе, содержащем CO_2 , на поверхности металла образуется слой основного карбоната свинца $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$.

В жесткой воде при значительном содержании в ней гидрокарбонатов и сульфатов кальция и магния на поверхности свинцовых труб образуется пленка из PbCO_3 и PbSO_4 , которая тормозит растворение свинца.

В то время как карбонаты и сульфаты тормозят растворение свинца в воде, нитраты, нитриты, хлориды, ацетаты, аммиак и т. д. содействуют его растворению.

Если металлический свинец находится в контакте с водой, содержащей незначительное количество растворенного в ней CO_2 , он покрывается в месте контакта защитной пленкой PbCO_3 . В случае высокого содержания CO_2 свинец корродирует, превращаясь в растворимый $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2$. По этой причине, а также из-за того, что вода, содержащая гидрокарбонат свинца, постепенно отравляется, свинцовые трубы для водопровода сейчас не применяются.

Выполнение работы.

В двух пробирках получите хлорид свинца взаимодействием растворов нитрата свинца (4 капли) и хлорида натрия (6 капель). В одну из пробирок добавьте 10 капель дистиллированной воды. Что происходит?

В другой пробирке осадку дайте отстояться. Отберите пипеткой жидкую фазу. К осадку добавьте 2–3 капли раствора иодида калия и перемешайте стеклянной палочкой. Как изменился цвет осадка? К осадку иодида свинца добавьте 2–3 капли раствора сульфата натрия. Изменился ли цвет осадка?

Запись данных опыта.

Напишите молекулярные и ионномолекулярные уравнения реакций. По результатам опыта сделайте вывод о растворимости хлорида, иодида, сульфата свинца.

Известно, что осадки веществ, характеризующихся низкими значениями ПР , менее растворимы. Используя произведения растворимости этих соединений, сделайте вывод о направлении реакций обмена.

$$(\text{ПР}_{\text{PbCl}_2} = 2 \cdot 10^{-5}, \text{ПР}_{\text{PbI}_2} = 8 \cdot 10^{-9}, \text{ПР}_{\text{PbSO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-8}).$$

Будут ли эти нерастворимые соли взаимодействовать с гидроксидом натрия? С сульфидом натрия? ($\text{ПР}_{\text{Pb}(\text{OH})_2} = 2 \cdot 10^{-16}$, $\text{ПР}_{\text{PbS}} = 1 \cdot 10^{-27}$).

ОПЫТ 3. Ингибиторное действие гидроксида кальция

Для противокоррозионной защиты можно использовать дешевый и доступный гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который в естественных условиях взаимодействует с углекислым газом атмосферы, в результате чего образуется нерастворимый карбонат кальция, из которого формируется защитная пленка.

Если в среде одновременно присутствуют хлориды и карбонаты, либо сульфаты и карбонаты, защитная пленка в этих условиях состоит из двух слоев, причем внешним слоем в обоих случаях является карбонат кальция, наличие которого повышает общие защитные свойства пленки.

3.1. Получение нерастворимых соединений кальция

Выполнение работы.

В четыре пробирки внесите по 2–3 капли растворов солей: в первую – сульфата натрия, во – вторую карбоната натрия, в третью – гидрокарбоната натрия, в четвертую – сульфата железа (II). В каждую пробирку добавьте по 3–4 капли раствора гидроксида кальция. Отметьте образование осадков.

Запись данных опыта.

Запишите уравнения реакций. Сравните растворимость сульфата и карбоната кальция ($\text{PP}_{\text{CaSO}_4} = 1,3 \cdot 10^{-4}$, $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$). Какая пленка быстрее растворяется в мягкой воде? Почему жесткая вода улучшает ингибиторные свойства гидроксида кальция?

3.2. Нанесение защитной пленки на железо

Выполнение работы.

В пробирку внесите 5 капель 0,5 н. раствора сульфата железа (II), 2 капли коллоидного раствора карбоната кальция, 10 капель 0,5 н. раствора гидроксида кальция. Перемешайте стеклянной палочкой. Опустите в пробирку на 30 с чистый гвоздь.

Приготовьте вторую контрольную пробирку.

В обе пробирки внесите по 20 капель 2 н. раствора хлорида натрия и по 2 капли гексацианоферрата (III) калия. В первую

пробирку опустите гвоздь с нанесенной пленкой, во вторую – чистый гвоздь. В каком случае меньше скорость коррозии железа? Какие соединения защищают металл от коррозии?

Запись данных опыта.

Ответьте на вопросы. Напишите уравнения реакций, протекающих при формировании пленки.

ОПЫТ 4. Ингибиторное действие раствора силиката натрия

Среди сравнительно небольшой группы водорастворимых силикатов для защиты от коррозии наиболее широко используют силикат натрия (технические названия – растворимое стекло, жидкое стекло, силикатный клей). Вследствие его гидролиза образуются продукты в коллоидном состоянии (гидросиликаты, кремниевая кислота), из которых формируется защитная пленка.

В процессе взаимодействия силиката натрия и кремниевой кислоты с гидроксидами и оксидами железа вначале происходит физическая адсорбция силикатов на соединениях железа. Затем протекают гетерогенные топохимические реакции между адсорбированными молекулами и оксидами и гидроксидами железа (II).

Адсорбция коллоидных частиц кремниевой кислоты обуславливает появление мелкодисперсного слоя ферросиликатов – «железного стекла». Установлено, что образующаяся масса ферросиликатов экранирует от среды в равной степени и анодные и катодные участки коррозионных микрогальванических элементов на поверхности стали.

4.1. Получение «железного стекла»

Выполнение работы.

В две пробирки внесите по 10 капель 2 н. раствора сульфата железа (II). В первую пробирку добавьте 15 капель 2 н. раствора силиката натрия, во вторую – 15 капель 2 н. раствора гидроксида натрия. Перемешайте растворы в пробирках стеклянными палочками. Отметьте цвета осадков.

Две воронки вставьте в чистые пустые пробирки, поместите

в них по фильтру, вылейте содержимое пробирок на фильтры. Наблюдайте изменение цвета осадка. Какой осадок взаимодействует с кислородом воздуха? Влияет ли адсорбция силиката на скорость окисления гидроксида железа (II)?

Запись данных опыта.

Ответьте на вопросы. Напишите уравнения реакций.

4.2. Нанесение защитной силикатной пленки на железо

Выполнение работы.

В пробирку внесите 10 капель 0,5 н. раствора сульфата железа (II) и 15 капель 0,5 н. раствора силиката натрия. Перемешайте стеклянной палочкой. Опустите в пробирку на 30 с чистый гвоздь.

Приготовьте вторую контрольную пробирку.

В обе пробирки внесите по 20 капель 2 н. раствора хлорида натрия и по 2 капли гексацианоферрата (III) калия. В первую пробирку опустите гвоздь с нанесенной пленкой, во вторую – чистый гвоздь. В каком случае меньше скорость коррозии железа?

Запись данных опыта.

Ответьте на вопросы. Напишите уравнения реакций.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение коррозии металлов?
2. Назовите виды коррозии, в чем разница?
3. Как изменяется электродный потенциал и скорость коррозии при пассивации металла?
4. Какие вещества называют пассиваторами?
5. Чем объясняется переход металлов в пассивное состояние в соответствии с пленочной и адсорбционной теориями?
6. Сформулируйте условие, при котором протекает коррозия металла. Какова роль анодных участков при окислении металлов?
7. Какое состояние металлов характеризуется пассивностью?

Лабораторная работа № 2

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Цель работы: Изучение методов защиты металлов от коррозии с помощью металлических покрытий.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Металлические покрытия по характеру защитного действия против коррозии разделяют на **катодные** и **анодные**.

Анодные покрытия характеризуются меньшими значениями электродных потенциалов, чем потенциал основного металла. Примером анодного покрытия может служить цинк на стали. При обыкновенной температуре на воздухе на поверхности цинка образуется оксидная пленка, защищающая его от дальнейшего окисления. В растворе электролита анодное покрытие, в частности цинк на железе, растворяется и тем самым защищает от коррозии основной металл, являющийся в возникшей гальванической паре катодом.

К **катодным** относятся покрытия, электродные потенциалы которых в данной среде имеют большие значения, чем потенциал основного металла. В этом случае металл может быть защищен от коррозии лишь при условии целостности покрытия. При повреждении катодного покрытия (или наличии пар) возникает гальванический элемент, в котором основной металл (с меньшим потенциалом) служит анодом и растворяется. Примерами катодных покрытий из стали являются Cu, Ni, Sn, Ag.

В качестве жаростойких лучшими являются *металлоподобные* и *керметные* (керамико-металлические) покрытия. Основой большинства металлических покрытий являются сплавы и интерметаллические соединения. Для покрытия сталей и никелевых сплавов эффективны алюминидные покрытия, которые во многих случаях легируются бором, кремнием, титаном, танталом и др. металлами. Распространенными жаростойкими покрытиями являются пленки на основе кремния и алюминия, например Si – Cr, Si – B, Si – Al – Cr, Si – Ti – Ni, Si – B – Cr, Al – Ni, Al – Cr.

Большой жаропрочностью обладают покрытия на основе силицидов. Так, дисилицид вольфрама WSi_2 устойчив на воздухе до $2100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а дисилицид молибдена – до $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать их в качестве нагревательных элементов.

Керметы $Ni - MgO$, $Ni - Al_2O_3$, $Ni - TiO_2$, $Cr - Al_2O_3$, $Cr - ZrO_2$, $Al - Al_2O_3$, $Cu - SiO_2$ также широко применяются в качестве основной составной части жаростойких покрытий. Металлическая составляющая, вводимая в оксидную матрицу (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2 и т.д.), значительно повышает ударную прочность покрытий и в несколько раз снижает их пористость. Подобные защитные покрытия имеют и высокую устойчивость к окислению.

Некоторые виды покрытий характеризуются особыми свойствами. Так, *ситалловые* (стеклокристаллические) покрытия, в отличие от стеклообразных (аморфных) эмалей, имеют большую прочность, повышенную твердость и устойчивость к истиранию, более высокую термоударную прочность.

ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ

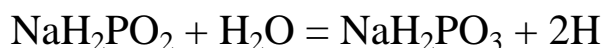
Оборудование и материалы: водяная баня; стаканы на 200 мл (6 шт.); термометр, наждачная бумага, стальные пластинки размером $30 \times 20 \times 2$ мм или $20 \times 10 \times 1$ мм, фильтровальная бумага.

Растворы: щелочной раствор **A** для никелирования (на 1 л воды: $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ – $45 \div 55$ г, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ – $40 \div 45$ г, лимоннокислый натрий – $30 \div 45$ г, NH_4Cl – $30 \div 35$ г); 25 % раствор аммиака (раствор **Б**); раствор **В** гипофосфита натрия NaH_2PO_2 – $20 \div 25$ г; органический растворитель (спирт или эфир); 15 %-ный раствор HCl ; кислый раствор для никелирования № 1 (см. табл. П.1): $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ – 30 г / л, CH_3COONa – 10 г / л, раствор гипофосфита натрия NaH_2PO_2 – 10 г / л.

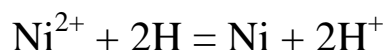
ОПЫТ 1. Никелирование металлических поверхностей щелочным способом

Широкое распространение получил процесс химического никелирования, позволяющий получить на деталях сложной кон-

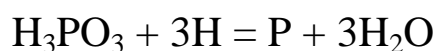
фигурации равномерные осадки, отличающиеся высокими декоративными качествами, малой пористостью и вместе с тем большой твердостью и износостойкостью. Процесс химического никелирования основан на восстановлении ионов никеля гипофосфитом в водных растворах. Реакция восстановления никеля имеет ступенчатый характер. Первой стадией процесса является разложение гипофосфита водой с выделением атомарного водорода:



Водород, адсорбируясь на поверхности деталей, вступает в реакцию с ионами никеля, в результате чего выделяется металлический никель:



Одновременно атомарный водород восстанавливает фосфор, который включается в состав покрытия:



Для стабилизации скорости процесса никелирования в растворы добавляют соединения с буферными свойствами, поддерживающие значения pH в определенных пределах (молочная кислота, уксуснокислый, лимоннокислый, гликолевокислый натрий и др.). Для предупреждения выпадения в осадок фосфита никеля и повышения устойчивости растворов в них вводят комплексообразователи: в щелочной раствор – аммиак и лимоннокислый натрий, в кислый – аминокислоту (глицин).

1.1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа состоит в приготовлении растворов для нанесения покрытия, подготовке металлических образцов, получении никелевого покрытия и определении его толщины.

Предварительно лаборант отдельно готовит раствор **А**, содержащий сульфат (или хлорид) никеля и хлорид аммония, раствор **Б** аммиака и раствор **В** гипохлорита натрия.

Подготовка поверхностей металлических образцов

Стальные пластины необходимо зачистить наждачной бумагой, обезжирить органическими растворителями, промыть в воде и протравить в течение 30 с в 15 %-ном растворе HCl, промыть в проточной воде, сполоснуть в дистиллированной воде и просушить фильтровальной бумагой.

Замерьте штангенциркулем или линейкой площадь образца и взвесьте на аналитических весах.

Непосредственно перед никелированием к 200 мл раствора А прилейте раствор Б до появления устойчивого синего цвета.

рН раствора поддерживайте периодическим добавлением раствора аммиака.

Подогрейте полученный раствор до 85–88 °С и непосредственно перед никелированием прилейте раствор В из расчета 5–6 г гипофосфита для получения 1 г никеля. Наденьте образец на крючок и поместите его в нагретый щелочной раствор на 30–60 мин. После нанесения покрытия образцы промойте водой, опустите в стакан с эфиром или спиртом и просушите в сушильном шкафу на фильтровальной бумаге в течение 5–10 мин при 50–60 °С.

1.2. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Образцы взвесьте и определите толщину покрытия (l) в микронах:

$$l = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 1000}{S \cdot \rho},$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после никелирования; S – поверхность образца, см²; ρ – плотность металла покрытия ($\rho_{\text{Ni}} = 8 \text{ г / см}^3$).

ОПЫТ 2. Никелирование металлических поверхностей кислотным способом

Подготовьте металлические образцы, как описано в опыте 1, замерьте их площадь и взвесьте на аналитических весах.

Для получения никелевого покрытия используют смеси рас-

творов, варианты которых указаны в табл. П.1 (растворы готовит лаборант).

Налейте 200 мл смеси растворов выбранного варианта и нагрейте до температуры, указанной в табл. П.1.

Используя крючки, поместите образцы в раствор на 30–60 мин. После никелирования образцы обработайте, как описано в опыте 1, и определите толщину покрытия.

Контрольные вопросы:

1. Чем объясняется переход металлов в пассивное состояние в соответствии с пленочной и адсорбционной теориями?

2. Во влажном воздухе (без CO_2 , H_2S , SO_2) металлическая медь покрывается плотной защитной пленкой, состоящей из смеси металлической меди и оксида меди (I). Напишите уравнения реакций: а) взаимодействия меди с кислородом во влажном воздухе с образованием гидроксида меди (II), б) взаимодействия гидроксида меди (II) с металлической медью с образованием оксида меди (I).

3. Во влажном воздухе поверхность цинка покрывается тонкой защитной пленкой оксида и основного карбоната. Напишите уравнения реакций.

4. В компактном состоянии чистое железо устойчиво в сухом воздухе и ржавеет во влажном, превращаясь в оксид железа (III) – ржавчину; она образует пористую, рыхлую пленку, которая не предохраняет железо от действия влаги и кислорода. Составьте уравнения реакций, протекающих при атмосферной коррозии железа.

5. Паротермический метод оксидирования стали заключается в воздействии на поверхность изделий перегретого водяного пара при температуре 450–650 °С и давлении 120–150 кПа. Сплошная оксидная пленка образуется толщиной до 10 мкм и состоит из оксидов железа (II) и железа (III). Написать уравнения реакций. Могут ли оксиды железа взаимодействовать между собой с образованием соли? Напишите уравнение реакции и назвать соль.

6. Чем объяснить применение более активного цинка для покрытия железных (стальных) листов и проволоки с целью предохранения их от коррозии?

7. Какую роль выполняют хлорид и сульфат натрия в водных растворах силиката натрия и гидроксида кальция при формировании пленок на стальных изделиях?

8. Кислые растворы ($\text{pH} = 1,5\text{--}2,5$) дигидрофосфатов цинка, марганца и железа образуют на поверхности стальных изделий и изделий из цветных металлов фосфатные пленки. Их формирование сопровождается выделением водорода. Составьте уравнения реакций.

9. С целью предохранения от коррозии железо покрывают одним из следующих металлов: цинком, оловом, хромом и никелем. Что будет подвергаться коррозии в первую очередь в каждом случае, если на покрытия нанести глубокую царапину, затрагивающую железо: основной металл или металл покрытия? Дайте объяснение.

Лабораторная работа № 3

ОКСИДИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗА ЩЕЛОЧНЫМ И КИСЛОТНЫМ РАСТВОРАМИ

Цель работы: Изучение процесса оксидирования железа щелочными и кислотными растворами для повышения его коррозионной устойчивости.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При оксидировании в поверхностном слое могут образовываться оксиды различного состава. Так, железо окисляется с образованием FeO , Fe_2O_3 , а также высших оксидов, например FeO_2 в H_2SO_4 и Fe_8O_{11} в HNO_3 , которым отвечают более положительные потенциалы и более высокая степень окисления металлов. Этим объясняется значительное уменьшение скорости растворения железа в растворах азотной и серной кислот при достаточно высокой их концентрации.

Пассивность металлов называют состояние относительно высокой коррозионной стойкости, вызванное торможением анодного процесса электрохимической коррозии в результате образо-

вания нерастворимого анода. Торможение анодного процесса при пассивации металла и снижение скорости коррозии сопровождается значительным смещением электродного потенциала металла в положительную сторону: для железа от значений $-(0,2 \div 0,5)$ до $+(0,5 \div 1,0)$ В, для хрома от $-(0,4 \div 0,6)$ до $+0,9$ В.

Пассивность наблюдается при определенных условиях у Ti, Al, Cr, Mo, Mg, Ni, Co, Fe и других металлов.

Вещества или процессы, вызывающие пассивное состояние металлов, называют *пассиваторами* или пассивирующими факторами. Ими являются многие *окислители*, например HNO_3 , NaNO_3 , NaNO_2 , Na_2WO_4 , K_2CrO_4 , O_2 , а также *анодная поляризация* от внешнего источника постоянного тока или при работе металла в качестве анода в гальваническом элементе.

Для объяснения перехода металла в пассивное состояние существует несколько теорий. В соответствии с *пленочной теорией пассивности* на анодных участках поверхности корродирующего металла образуется тончайшая защитная пленка, например по реакции



Поскольку потенциал этого процесса меньше потенциала анодной реакции выделения газообразного кислорода, образование оксида приводит к торможению анодного процесса.

Коррозионная стойкость металла в пассивном состоянии зависит от совершенства защитной пленки и ее *пористости*. Последнее вызвано тем, что анодный процесс протекает в порах пленки, которые могут закрываться вследствие образования оксидов и вновь возникать в других местах, где происходит их растворение или катодное восстановление. Это может нарушить *сплошность* пленки и ее защитные функции.

В соответствии с *условием сплошности* Пиллинга и Бедворса оксидная пленка проявляет защитные свойства, если молекулярный объем образовавшегося оксида ($V_{\text{ок}}$) больше объема металла ($V_{\text{ме}}$), израсходованного на получение молекулы оксида, т.е. образование сплошной пленки возможно лишь при условии:

$$\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{ме}}} \geq 1.$$

В соответствии с *адсорбционной теорией* пассивности ме-

таллов на их поверхности возникают мономолекулярные адсорбционные слои окислителя (кислорода или других веществ). Защитное действие кислорода, адсорбированного на отдельных наиболее активных участках поверхности (углах, ребрах кристаллической решетки), связано с торможением анодного процесса растворения металла. Под пленкой и в ее порах находятся атомы или ионы кислорода. Они глубоко внедряются в металл на анодных участках, служа переходным слоем от металла к защитной пленке, и улучшают ее сцепление, что переводит металл в пассивное состояние.

Таким образом, пассивация металла путем *оксидирования* сводится к созданию на поверхности металла слоя нерастворимого оксида, через который диффузия кислорода становится ничтожно малой.

Методы нанесения оксидных слоев можно разделить на химические, электрохимические и термические.

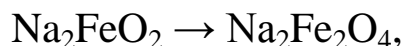
Термические методы оксидирования осуществляют в расплавах солей щелочных металлов, например NaNO_2 и NaNO_3 при 330–350 °С. Они применяются редко, т.к. окисление металлов при высокой температуре вызывает коробление деталей.

Электрохимическое оксидирование (анодирование) проходит при электролизе и включает окислительные процессы на аноде, к которому присоединено защищаемое изделие. Примером электрохимического оксидирования может служить анодирование алюминия.

Химическое оксидирование является результатом химической обработки изделия в растворе, содержащем электролитокислитель. Этот метод является самым простым и дешевым, т.к. не требует применения электрического тока, протекает при более низких температурах, сохраняет, как правило, форму и размеры деталей. Примером химического оксидирования является «воронение» черных металлов, т.е. искусственное создание на поверхности стали или чугуна пленки магнитного оксида железа Fe_3O_4 . Образование пленки при оксидировании в щелочном растворе проходит в несколько стадий по следующей схеме:
растворение железа в щелочи с образованием соли, содержащей Fe (II)



окисление железа в составе соли до Fe (III)



образование из солей пленки гидроксидов и оксидов Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , образование осадка в результате побочных реакций гидролиза соли и частичной дегидратации гидроксида железа (III)



В сухом воздухе оксидные пленки достаточно стойки. Во влажной атмосфере и, особенно, в воде защитные свойства снижаются. Поэтому металлические изделия пропитывают маслом.

1. ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ

Оборудование и материалы: песчаная баня, термометр, металлические пластинки (стальные, алюминиевые, медные) размером $30 \times 20 \times 2$ мм или $20 \times 10 \times 1$ мм с небольшим отверстием, медная проволока, наждачная бумага, стаканы на 100–200 мл.

Реактивы. Раствор для оксидирования: а) на 1 л воды: NaOH – 700 г, NaNO_2 – 200 г, NaNO_3 – 50 г; б) растворы HNO_3 – 20, 40 и 50 %; раствор хлороводородной кислоты 15 % (масс.); органический растворитель (бензин, ацетон, или др.); вазелин.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Подготовка поверхности стальных пластин

Повышение чистоты поверхности увеличивает износостойкость деталей и повышает их коррозионную устойчивость. Три стальных пластинки зачистите наждачной бумагой, обезжирьте органическим растворителем и промойте водой. Непосредственно перед оксидированием поместите пластинки в 15 % (масс.) раствор хлороводородной кислоты на 0,5 мин, затем промойте водой.

2.2. Оксидирование образцов щелочным раствором

Поместите образцы в песчаную баню со щелочным раствором для оксидирования, разогретым до 135–145 °С. Эту температуру поддерживайте в течение всего опыта. Продолжительность оксидирования 30–40 мин.

В конце опыта отключите обогрев, тщательно промойте металлические образцы стали в холодной проточной воде до полного удаления остатков щелочного раствора. При недостаточной промывке на поверхности пластин при хранении появляется белый налет. Для периодического контроля качества промывки на поверхность оксидной пленки нанесите каплю фенолфталеина. При тщательной промывке в воде капля фенолфталеина не дает розового окрашивания на поверхности оксидированной детали. Просушите пластины фильтровальной бумагой.

Один образец смажьте тонким слоем вазелина для улучшения защитных свойств оксидной пленки, с другими проведите испытания.

2.3. Оксидирование образцов кислотным методом

Заполните 3 стакана растворами азотной кислоты разной концентрации (20, 40, 50 %). Последовательно перемещайте образец из стакана в стакан после двадцатисекундной выдержки. Опыт начинайте с наименьшей концентрации азотной кислоты.

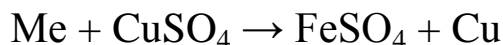
Наблюдайте за растворением образца по выделяющимся пузырькам газа. Прекращение их выделения свидетельствует об образовании оксидной пленки на поверхности металла, в результате чего он пассивируется. Отметьте концентрацию азотной кислоты, при которой наступает этот момент.

3. ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ

Надежность защитных свойств оксидной пленки во многом определяется ее пористостью.

Определите пористость оксидной пленки. Для этого промойте оксидированный образец металла (Me) в холодной воде и опустите его на медной проволоке на 3 мин в раствор CuSO_4 . В

открытых порах и на слабо защищенных участках пластины появляется медь по реакции



Промойте образец в холодной воде и просушите фильтровальной бумагой.

Для определения пористости подсчитайте число пор, заполненных медью, на произвольно выбранном одном или двух участках поверхности образца площадью 1 см^2 .

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Напишите уравнения окислительно-восстановительных процессов, протекающих при оксидировании стали щелочным методом.

Напишите уравнения окислительно-восстановительных процессов, протекающих при оксидировании стали кислотным методом. Результаты наблюдений оформите в виде таблицы

№ опыта	Концентрация азотной кислоты, %	Время выдержки образца	Результаты наблюдений

Запишите результаты определения пористости оксидной пленки образца.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте условие, при котором протекает коррозия металла?
2. Какова роль анодных участков при окислении металлов?
3. Какое состояние металла характеризуется пассивностью?
4. Схема образования пленки при оксидировании в щелочном растворе?
5. Какова роль оксидирования при пассивации металла?
6. Какой способ оксидирования железа лучше, щелочным или кислотным растворами, и почему?
7. В чем сущность оксидирования железа щелочным раствором?

Лабораторная работа № 4

ХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: Изучение методов защиты алюминиевых сплавов от коррозии и повышение их химической стойкости.

1. ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ

Оборудование и материалы: песчаная баня, термометр, металлические пластинки (стальные, алюминиевые, медные) размером $30 \times 20 \times 2$ мм или $20 \times 10 \times 1$ мм с небольшим отверстием, медная проволока, наждачная бумага, стаканы на 100–200 мл.

Реактивы. Раствор для оксидирования: на 1 л воды Na_2CO_3 – 40–50 г, Na_2CrO_4 – 10–15 г, NaOH – 2,0–2,5 г; раствор хлороводородной кислоты 15 % (масс.); органический растворитель (бензин, ацетон, или др.); вазелин.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Подготовка поверхности алюминиевых пластин

Алюминиевые пластины подготовьте так, как описано в лабораторной работе № 3.

2.2. Химическое оксидирование алюминиевых пластин

Налейте в стаканы на $\frac{1}{2}$ уровня раствор для оксидирования, содержащий в качестве окислителя хромат натрия в щелочной среде и опустите в них пластины.

Поставьте стаканы в песчаную баню, предварительно разогретую до 100°C . Химическое оксидирование алюминия проводите при $80\text{--}100^\circ\text{C}$ в течение 10–20 мин.

После оксидирования пластины тщательно промойте в воде, затем промокните фильтровальной бумагой и высушите в сушильном шкафу при 50°C , либо на открытом воздухе. Образующаяся при химическом оксидировании алюминиевых сплавов пленка состоит из гидратированных оксидов алюминия и хрома (III). Оксидная пленка повышает адгезию лакокрасочных покрытий.

3. ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ

Испытайте образцы как в лабораторной работе № 3.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

Запишите уравнение реакции алюминия с окислителем. Отметьте цвет пленки, который может изменяться от желтого до темно-серого. Опишите результаты изучения пористости образцов и сделайте вывод о качестве оксидной пленки на поверхности алюминия.

Контрольные вопросы:

1. Какова роль оксидирования при пассивации металла?
2. Какое влияние оказывает пористость на свойства защитной пленки?
3. Сформулируйте условие сплошности оксидных пленок.
4. Какие существуют методы нанесения оксидных слоев на поверхность металла?
5. Объясните, что означают термины «анодирование алюминия» и «воронение стали».
6. Напишите уравнения реакций, протекающих при химическом оксидировании металлов в различных средах.
7. Каковы преимущества и недостатки химического оксидирования по сравнению с другими методами нанесения оксидных пленок?

Лабораторная работа № 5

ХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Цель работы: Изучение метода химического оксидирования меди и ее сплавов.

1. ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ

Оборудование и материалы: песчаная баня, термометр, металлические пластинки (стальные, алюминиевые, медные) размером $30 \times 20 \times 2$ мм или $20 \times 10 \times 1$ мм с небольшим отверстием, медная проволока, наждачная бумага, стаканы на 100–200 мл.

Реактивы. Раствор для оксидирования: на 1 л воды NaOH – 50–60 г, $K_2S_2O_8$ – 14–16 г; раствор $CuSO_4$ 10 % (масс.); раствор хлороводородной кислоты 15 % (масс.); органический растворитель (бензин, ацетон, или др.); вазелин.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Подготовка поверхности медных пластин

Медные пластины подготовьте так, как описано в лабораторной работе № 3.

2.2. Химическое оксидирование медных пластин

Налейте в стаканы на $\frac{1}{2}$ уровня раствор для оксидирования, содержащий в качестве окислителя пероксодисульфат калия в щелочной среде. Опустите в них медные пластины.

Поставьте стаканы на разогретую песчаную баню. Оксидирование проводите при температуре 60–65 °С в течение 5 минут.

После химического оксидирования пластины промойте в холодной, затем горячей воде и высушите. Образующаяся при этом пленка состоит из оксида меди (II), имеет черный цвет, обладает высокой механической прочностью и эластичностью. Толщина оксидной пленки – 1 мкм.

3. ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ

Испытайте образцы как в лабораторной работе № 3.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

Запишите уравнения реакций взаимодействия меди с перок-

содисульфатом калия, который превращается в сульфат калия, ионов меди (II) с гидроксид-ионами, разложения гидроксида меди (II) с образованием оксида.

Контрольные вопросы:

1. Какие вещества называют пассиваторами?
2. Как изменяется электродный потенциал и скорость коррозии при пассивации?
3. Укажите методы нанесения оксидных слоев?
4. Сущность метода химического оксидирования?
5. Пленочная и адсорбционная теории пассивности?
6. Как осуществляется подготовка поверхности медных пластин к оксидированию. Зачем ее проводят?
7. Во влажном воздухе, содержащем газообразные CO_2 , H_2S , SO_2 , медь покрывается защитной пленкой, состоящей из основного карбоната и основного сульфата меди. Напишите соответствующие уравнения реакций.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При работе в химической лаборатории необходимо знать и строго соблюдать установленные правила.

Выполнение работ проводится только при наличии халата.

Во избежание отравления запрещается принимать пищу в химических лабораториях.

Не допускайте попадания химических реактивов на кожу и одежду. Особую осторожность соблюдайте при работе с концентрированными кислотами и щелочами. Работайте с ними в вытяжном шкафу, окна которого должны быть открыты не более чем на одну треть.

При нагревании или кипячении жидкости в пробирке держите её отверстием от себя и работающих рядом. Работы с нагревательными приборами производите в вытяжном шкафу.

Работу по растворению кристаллов щелочи выполняйте осторожно в вытяжном шкафу, используя защитные очки, маску и резиновые перчатки. Колбу предварительно оберните полотенцем в связи с выделением тепла при растворении щелочи.

Реактивы общего пользования не уносите на свои рабочие места. Сухие вещества берите только чистым шпателем и в минимальных количествах.

В качестве индивидуальных средств защиты следует применять фильтрующий противогаз, резиновые перчатки и очки.

Первая доврачебная помощь:

а) при ранении стеклом нужно удалить его остатки из раны, смазать руку йодом, наложить стерильную повязку, при артериальном кровотечении – жгут или закрутку, обратиться к врачу;

б) при термических ожогах первой степени обожженное место смазывают вазелином. При ожогах второй степени (появление пузырей) делают примочки из перманганата калия (5 %) или этилового спирта. При более тяжелых ожогах необходимо отправить пострадавшего к врачу;

в) при ожогах концентрированными кислотами или щелочами необходимо обожженное место промыть сильной струей воды, затем наложить примочку: при ожогах кислотой – из 2 % раствора соды, при ожогах щелочью – 2 % раствора борной (уксусной) кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 752 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/50684>.
2. Рахимова, Д. Ф. Metalorrosion. Electroplating (Защита от металлов от коррозии. Гальванотехника): учеб.-метод. пособие / Д. Ф. Рахимова, О. И. Лефтерова, Я. В. Ившин – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013. – 152 с.
3. Основы неорганического синтеза: учебное пособие / Т. Г. Черкасова [и др.]; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. химии и технологии неорган. веществ. – Кемерово, 2012. – 110 с. – Режим доступа: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90775&type=utchposob:common>
4. Лабораторный практикум по общей химической технологии: учеб. пособие / [В. А. Аверьянов] и др.; под ред. В. С. Бескова. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 279 с.
5. Москвичев, Ю. А. Теоретические основы химической технологии / Ю. А. Москвичев, А. К. Григоричев, О. С. Павлов. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 272 с.
6. Ильин, А. П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учеб. пособие / А. П. Ильин, А. А. Ильин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 133 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/612994/>
7. Ракоч, А. Г. Современные жаростойкие материалы и системы металл – покрытие: высокотемпературное окисление сплавов на основе γ TiAl и их микродуговое оксидирование: курс лекций / А. Г. Ракоч, А. А. Гладкова, Ю. А. Пустов, И. В. Бардин. – Москва: Изд-во «МИСИС», 2015. – 48 с.
8. Прилепская, Л. Л. Технология основного неорганического синтеза [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие / Л. Л. Прилепская; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. химии, технологии неорган. веществ и наноматериалов. – Кемерово, 2014. – Режим доступа: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90061&type=utchposob:common>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Составы кислотных растворов и режима никелирования

Компоненты	Содержание в растворах (г / л)			
	№1	№2	№3	№4
Хлорид никеля $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30	—	—	—
Сульфат никеля $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	—	30	20	28
Гипофосфит натрия NaH_2PO_2	10	15	20	30
Уксуснокислый натрий CH_3COONa	10	—	8	—
Глицин				15
Яблочная кислота	—	30	—	—
Янтарнокислый натрий				18
Условия опыта				
рН (начальное значение)	4,9–5,2	5–6	5–6	4,5–5,3
Температура, °С	83–87	86–92	90–92	90–92

Составитель
Суровая Виктория Эдуардовна

**ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ
ПОКРЫТИЙ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «**Новые технологии производства материалов
и продуктов**» для студентов всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 11.12.2017. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,6.

Тираж 17 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.