



# Гальванические покрытия

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ДЛЯ ПЕДАГОГА

**Анастасия Вадимовна Григорьева**

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
факультет наук о материалах, доцент, кандидат химических наук

Для возраста

**9 класс**

Трудоемкость

**4 часа**



[htweek.ru](http://htweek.ru)

## Занятие 1

### 1. Мотивационная часть (28 минут).

*Шаг 1.* Пропредмонстрируйте **видеофрагмент «Коррозия»**, не оглашая его названия. Обсудите с учащимися, о каком явлении идёт речь? Какое можно дать определение данному явлению?

Коррозия – результат агрессивного воздействия окружающей среды на металлические поверхности, в основе которого лежат процессы окисления. Почему коррозия вредна? Какие предметы в быту подвергались коррозии, и учащиеся, члены семьи не смогли восстановить их?

Почему важно изучать коррозионную стойкость материалов? Чтобы затем найти способ защиты. Почему этот процесс может длиться годами? Атмосферная коррозия протекает медленно.

*Шаг 2.* Пропредмонстрируйте **видеофрагмент «Коррозия металлов»**. Обсудите, какие металлы подвержены коррозии? Только ли железо? Корректно ли говорить о коррозии железа – какой именно материал (сталь – сплав железа с углеродом) служит обычно для изготовления «железных» изделий?

Какие металлы корродируют в меньшей степени? От чего это зависит?

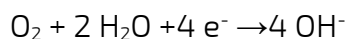
Почему в видеоролике мы наблюдаем процесс коррозии, его продукты за несколько секунд, минут, но не лет, как в **видеофрагменте «Коррозия»**?

Попросите учащихся предположить, какой раствор был взят для растворения металлов, исходя из наблюдаемых явлений (медь не реагирует; олово и железо практически не растворяются, цинк заметно реагирует с выделением газа, ещё более активно – магний, наиболее бурно – кальций). Могла это быть вода? Кислота? Щёлочь? Почему? Вероятно, была взята соляная кислота.

*При наличии времени и соответствующей подготовке учащихся можно провести аналогичный демонстрационный либо лабораторный опыт, записать уравнения протекающих реакций (либо задать на дом), обсудить, какие металлы и почему не взаимодействуют с соляной кислотой? Почему поверхность пластинки меди в соляной кислоте стала блестящей, с чем это связано (происходит растворение оксидной плёнки) и т.д.*

Обсудите, какая частица выступает коррозионным агентом в данном опыте. Это катион водорода. К какому типу реакций относится коррозия? Почему? Это окислительно-восстановительный процесс, потому что атомы металла превращаются в ионы. Что является окислителем? Катион водорода. Восстановителем? Атомы металла. А за счёт чего происходит разрушение в атмосфере воздуха? Тоже за счёт катиона водорода? Нет. Какое вещество выступает окислителем? Это кислород воздуха.

Предложите учащимся записать уравнение атмосферной коррозии, например, стали (Fe). Обсудите варианты. Обратите внимание, что образуется обычно не оксид, а гидроксид железа (III). При этом важную роль в усилении коррозии играет атмосферная влага:



*При наличии времени обратитесь к наблюдениям учащихся – в каком случае стальные изделия корродируют сильнее: полностью погруженные в воду или на границе воды и воздуха. Почему? Наиболее опасно именно сочетание кислорода воздуха и влаги.*

## **2. Постановка проектной задачи (2 минуты).**

Итак, в той ли иной степени коррозии подвержены все металлы. Даже для самых инертных (их называют благородными) может найтись активный коррозионный агент. Например, золото и платина растворяются в так называемой «царской водке» – смеси концентрированных азотной (65–68 % масс.  $\text{HNO}_3$ ) и соляной (32–35 % масс.  $\text{HCl}$ ) кислот в объёмном соотношении 1:3.

Можно ли избавиться от коррозии? В начале занятия мы узнали, что все металлы могут подвергаться коррозии. Таким образом, человечество сталкивается с недолговечностью многих промышленных установок и систем, бытовых устройств, предметов индивидуального использования. При этом возникает и важная экологическая проблема утилизации ржавых предметов, машин, судов и пр.

Есть ли решения у данной проблемы? ***Каким образом, используя доступные в школьной лаборатории средства, можно уменьшить действие коррозии на стальное изделие и доказать эффективность защиты?***

### **2.1. Решение проектной задачи.**

#### **2.1.1. Учебное задание 1 «Способы защиты» (15 минут).**

*Шаг 1.* Обсудите с учащимися, в чём была причина коррозии транспортных средств, показанных в начале **видеофрагмента «Коррозия»**? Какие металлы и сплавы принято использовать в автомобильной, авиационной промышленности? Были ли защищены металлические детали транспортных средств?

*Шаг 2.* Предложите учащимся в группах обсудить и сформулировать предложения (в том числе с учетом собственного жизненного опыта) по защите металлических конструкций от коррозии, а также привести соответствующие примеры. Для записи способов можно использовать стикеры, которые затем приклеиваются учащимися на доску и в ходе обсуждения объединяются в группы.

При выделении групп обратите внимание учащихся на два основных компонента коррозионной системы – корродирующий металл и окружающая среда, а также на два основных способа уменьшения коррозии – повышение стойкости материала защищаемого изделия либо перекрытие доступа коррозионного агента. Например:

- изменение металла (легирование – нержавеющая сталь, термообработка – закаливание и пр.);
- нанесение защитных покрытий на изделие (лакокрасочные покрытия, эмали, металлические покрытия и пр.);
- изменение окружающей среды (деаэрация – удаление кислорода и влаги, использование инертной защитной атмосферы – например, азота; водоподготовка – добавление ингибиторов коррозии и пр.) и т.п.

Учащиеся могут также предложить отказаться от стали, заменив её, например, на дерево, алюминий, титан, пластик и т.п. В этом случае следует обсудить экономические причины использования стали как распространённого и доступного, относительно дешёвого и удобного в обработке материала.

*Шаг 3.* Попросите учащихся назвать, с каким из способов защиты от коррозии мы чаще всего сталкиваемся в быту? Это защитные покрытия. Обращаясь к результатам работы на предыдущем шаге, выделите основные виды защитных покрытий. Сообщите учащимся, что они делятся на две большие группы – металлические и неметаллические (лаки и краски, полимерные плёнки, силикатные эмали, резины, бетоны, оксиды металлов, соединения фосфора, хрома и др.).

*Шаг 4.* Пр продемонстрируйте **видеофрагмент «Защитные покрытия»**. Его можно просматривать по частям: классификация защитных покрытий (0:00–0:30), анодные покрытия (0:30–0:53), катодные покрытия (0:53–1:15), создание анодных покрытий в промышленности (1:16–1:35), сплавы, стойкие к коррозии (1:35–1:50).

Попросите учащихся, исходя из собственных наблюдений, предположить, какие покрытия будут более целостными, прочными, долговечными? Долго ли держится без трещин краска, эмаль? Прочны ли полимерные плёнки? А металлы?

Таким образом, наиболее прочными и долговечными являются металлические покрытия. Все ли они одинаковы? О чём говорит диктор в **видеофрагменте «Защитные покрытия»**? От чего зависит отнесение покрытия к анодному (более отрицательный электродный потенциал, в электрохимическом ряду напряжений металл-покрытие стоит левее металла-основы) или катодному (более положительный электродный потенциал, в электрохимическом ряду напряжений металл-покрытие стоит правее металла-основы). Чем отличается механизм защитного действия анодного (растворяется металл-покрытие) и катодного (разрушается металл-основа) покрытий?

Предложите учащимся обсудить в группах, почему не используются покрытия какого-либо одного типа, например, анодные? От каких факторов это может

зависеть? Например, стоимость, условия эксплуатации, декоративные свойства и т.п.

## Занятие 2

### 2.1.2. Учебное задание 2 «Какое нанести покрытие?» (7 минут).

*Шаг 1.* Как мы можем проверить свои предположения? Какие методы, известные нам из **видеофрагмента «Коррозия»**, используются для испытания покрытий? Что нужно сделать, прежде чем провести такие испытания? Нужно получить сами покрытия.

Что можно выбрать в качестве металла-основы? С каким металлом желательно провести опыт, чтобы их результаты имели практическое значение. Какой металл знаком каждому из нас, наиболее широко применяется в качестве конструкционного материала? Это сталь – сплав железа с углеродом, который по химическим свойствам условно можно считать железом.

Какие металлы, продемонстрированные в видеофрагменте «Коррозия металлов», доступные в химической лаборатории, с которыми мы уже имели дело, могут выступить в роли анодного и катодного покрытия на стали. Предложите учащимися рассмотреть каждый из представленных образцов:

- олово – покрытие катодное, его свойства известны – широко применяется, например, при оловянировании консервных банок
- магний – по положению в электрохимическом ряду напряжений металлов может быть анодным покрытием, но не применяется на практике по причине высокой химической активности;
- цинк – покрытие анодное;
- медь – покрытие анодное;
- кальций – по положению в электрохимическом ряду напряжений металлов может быть анодным покрытием, но на практике не может применяться по причине высокой химической активности (бурно реагирует с водой).

Для наших испытаний лучше всего подойдут цинк и медь.

Предложите классу разделиться до завершения модуля на два варианта: первый получает и изучает цинковые покрытия, второй – медные.

### 2.2.3. Учебное задание 3 «Химический способ» (7 минут).

*Шаг 1.* Попросите учащихся назвать наиболее простой и уже известный им способ осаждения одного металла на другом. Это химическое осаждение.

Учащиеся могут также отметить напыление. Если этого не произойдёт, сообщите, что один металл можно покрывать другим также способом напыления. Напыление металла – это технология изменения структуры поверхности изделия с целью приобретения определённых качеств, повышающих эксплуатационные

характеристики. Технология появилась в начале XX в качестве альтернативы традиционным способам поверхностной модификации металлов.

Обработку выполняют путём нанесения однородного металлического слоя на деталь или механизм. В качестве расходного материала используют специальные порошковые составы, которые подвергают термической обработке и придают им значительное ускорение. При ударном соприкосновении с поверхностью частицы осаждаются на плоскости.

По мере изучения и развития методов напыления металлических изделий была образована отдельная отрасль – порошковая металлургия. Это технология получения порошков для изготовления из них различных изделий. В современной промышленности напыление металлов считается одним из самых экономичных способов обработки.

На заре развития технологии обработка изделий осуществлялась с помощью сопла горелки и обычного компрессора, которые обеспечивали нагрев расходного материала и его перенос на осаждаемую поверхность. Следующим этапом развития стало использование электродугового оборудования.

При газодинамическом напылении обработка осуществляется мельчайшими частицами, размер которых не превышает 150 мкм.

Процедура вакуумного напыления протекает в условиях пониженного давления. Образование защитного слоя происходит в процессе конденсации напыляемого материала на базовой поверхности. Ионно-плазменное напыление – одна из разновидностей вакуумного напыления металла на поверхность. Метод основан на нагреве исходных материалов до точки кипения с их дальнейшей конденсацией на деталях. В процессе магнетронной вакуумной металлизации в плазме образуются ионы газа, которые воздействуют на распыляемое вещество.

Один из самых эффективных – метод диффузионной металлизации. Рабочая температура плазмы может достигать 6000 °C, что способствует высокой скорости осаждения состава на поверхности за десятые доли секунды. Благодаря малому времени обработки заготовка не подвергается вредным поверхностным факторам, таким как перегрев или окисление. В качестве источника энергии для образования плазмы используют искровой, импульсный или дуговой разряд.

Лазерное напыление металла применяют для повышения прочности поверхностного слоя, восстановления геометрии изделия, снижения коэффициента трения, а также защиты от коррозионных процессов. Высокая точность фокусировки лазера позволяет добиться концентрации энергии точно в рабочей зоне, что позволяет избежать изменения геометрии изделия и даёт возможность осуществить напыление практически любого материала. Благодаря высокой скорости охлаждения в поверхностном образуются структуры с высокой твердостью, что повышает эксплуатационные характеристики детали.

Обратите внимание, что напылением нанопорошков могут быть получены наноструктурированные покрытия со специальными свойствами. Например, в Центральном научно-исследовательском институте конструкционных материалов «Прометей» Научно-исследовательского центра «Курчатовский институт» разработана технология сверхзвукового холодного газодинамического напыления (ХГДН), которая позволяет сохранить наноструктуру исходных порошков, высокие свойства функционального покрытия и обеспечивает создание беспористых покрытий с высокими показателями износо- и коррозионной стойкости. При этом энергопотребление установки ниже, чем у известных аналогов.

Следует отметить, что **технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов относятся к так называемым критическим, или «высоким» технологиям.**

*Шаг 2.* Предложите учащимся в группах:

- получить осадки цинка и меди путём химического осаждения из раствора их солей (сульфат цинка и сульфат меди соответственно);
- описать текстуру, свойства полученных осадков.

Опираясь на известные знания, учащиеся могут утверждать, что получить осадок цинка на стали нельзя, поскольку цинк активнее железа. В этом случае можно обратить внимание, что каким-то образом цинковые покрытия получают. Возможно, и у нас получится это сделать.

Для химического осаждения стальной образец (пластина, проволока, гвоздь и т.п.) погружается в химический стакан, заполненный раствором соответствующей соли на 1–2 минуты.

Получить осадок цинка, действительно, не удаётся. Каким получился осадок меди? Он рыхлый, не твёрдый, кристаллы металла крупные, легко стираются с образца, например, фильтровальной бумагой. Почему?

Попросите учащихся в группах предположить причины получения некачественного медного покрытия, например: выделение водорода на поверхности стальной пластины, препятствующее формированию равномерной металлической плёнки; формирование химически инертной защитной оксидной плёнки на поверхности стальной пластины, что приводит к прекращению реакции; недостаточная концентрация меди в растворе или низкая скорость диффузии ионов к поверхности стального изделия.

Будет ли такое покрытие качественно защищать сталь от коррозии? Нет.

*Шаг 3.* Предложите учащимся обсудить в группах, что мы учли, а что нет, нанося покрытие? Учли ли мы свойства поверхности стального образца? Какие свойства поверхности могли помешать прочному сцеплению с металлом покрытия? Можно ли брать образец пальцами? Почему? Какая требуется предварительная подготовка детали? Поверхность должна быть чистой, без следов ржавчины. Брать пальцами

нельзя, так как при этом остаются потожировые выделения, которые загрязняют поверхность. Желательно активировать и обезжирить её.

#### 2.2.4. Учебное задание 4 «Ищем другой способ» (16 минут).

Каким же образом получают защитные покрытия в промышленности? Причём не только катодные (самопроизвольный процесс), но и анодные (процесс самопроизвольно протекать не может)? Какой нам известен фактор, который может «заставить» осаждаться даже более активный металл на поверхности менее активного? При этом кристаллы получаются более мелкими, а потом покрытие будет более плотным. Это электрический ток.

Сообщите, что металлические покрытия, полученные действием электрического тока, называют гальваническими. Обсудите, что означает это слово? С именем какого учёного оно связано? Почему? Луиджи Гальвани (1737–1798) – итальянский врач, физиолог и физик, один из основателей учения об электричестве.

Напомните учащимся, какие причины мешали созданию защитного покрытия путём химического осаждения:

- 1) формирования покрытия цинка не происходило, так как процесс в принципе не возможен (термодинамически запрещен);
- 2) формирования однородного качественного покрытия меди не происходило вследствие плохой адгезии меди к поверхности, формирования крупных частиц, которые отделялись от поверхности, то есть неоднородного осадка.

Итак, переходим к электрохимическому осаждению металлических покрытий, которое происходит более контролируемо, чем без электрического поля.

Формирование гальванических покрытий для защиты металлических поверхностей от коррозии требует грамотного выбора покрывающего металла, а также состава электролита и условий нанесения покрытия, так как эти параметры определяют морфологию покрытия, а значит, и его защитные свойства.

Предложите группам (по вариантам) ознакомиться с текстом **карточки 1-1 «Гальваническое меднение»** и **карточки 1-2 «Цинкование в домашних условиях»**. Обсудите:

- какие этапы можно выделить в процессе нанесения гальванического покрытия?
- какие реактивы необходимы для этого?
- какое потребуется оборудование?

Технология включает ряд этапов:

- механическая подготовка поверхности – очистка наждачной бумагой от следов ржавчины;



- обезжиривание – обработка венской известью (тонко размолотое природное сырьё, содержащее 95 % оксида кальция и 5 % оксида магния; хранится в герметически упакованном виде) при помощи старой зубной щётки;
- активация – опускание в раствор серной кислоты концентрации 50 г/л;
- электроосаждение из электролита в гальванической ванне (для чего потребуется источник тока);
- промывка дистиллированной водой;
- сушка.

Для испытания покрытий разной толщины будем получать осадки в 3 и 6 мкм.

Состав растворов цинкования и меднения известен из технической документации (таблица 1).

Таблица 1 – Компоненты электролитов и их содержание (г/л)

| Цинкование  |            | Меднение   |            |
|---|------------|--|------------|
| компонент   | содержание | компонент  | содержание |
| $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$               | 200        | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$                  | 150        |
| $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$              | 80         | $\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.,<br>плотность<br>1,84 г/мл) | 100        |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ | 30         |  |            |

Что нам нужно рассчитать, чтобы получить покрытия заданной толщины?

Нужно рассчитать время осаждения. Какие сведения из физики нам потребуются для этого? Какой физический закон связывает массу осажденного металла и количество прошедшего электричества. Это так называемый объединённый закон Фарадея. При наличии времени можно предложить учащимся подготовить краткое сообщение о жизни и научной деятельности М. Фарадея (**приложение А**).

При наличии времени и уровня подготовки предложите группам вывести формулу для расчёта времени осаждения. Какие величины должны туда входить?

В случае затруднения сообщите исходные данные.

Закон Фарадея: «Масса вещества, выделившегося на электроде за время, при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени», то есть:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It$$

Так как катионы цинка и меди двухзарядные, считаем  $n = 2$ . Сила тока  $I$  находится как плотность тока, умноженная на площадь поверхности изделия  $S$ , то есть:

$$I = i \cdot S.$$

Рекомендованная плотность тока  $i = 1 \text{ А/дм}^2$ .

Итоговая формула расчёта времени покрытия имеет вид:

$$\tau = \frac{\delta \cdot \rho \cdot 60}{i_k \cdot K_z \cdot Bm}$$

где  $\delta$  – толщина покрытия, мкм;  $\rho$  – плотность осаждаемого металла, г/см<sup>3</sup>;  $i_k$  – плотность катодного тока, А/дм<sup>2</sup>;  $K_z$  – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/(А·ч);  $Bm$  – выход по току, %.

Плотность металлического цинка 7,1 г/см<sup>3</sup>, меди 8,9 г/см<sup>3</sup>.

Электрохимический эквивалент цинка равен 1,22 г/(А·ч), меди – 1,19 г/(А·ч). Выход по току аналогичен выходу продукта реакции и принимается равным 95 %.

Расчётное время составит:

- цинкование – 11 мин. для покрытия толщиной 3 мкм, 22 мин. для покрытия толщиной 6 мкм;
- меднение – 14 мин. для покрытия толщиной 3 мкм, 28 мин. для покрытия толщиной 6 мкм.

Для расчёта устанавливаемой силы тока следует помножить плотность тока на площадь детали, погруженную в раствор электролита. Рекомендуется использовать детали прямоугольной формы (например, жестяные пластины, которыми обивают деревянные, фанерные ящики). Для плоской детали площадь  $S$  будет равна **удвоенному** произведению ширины на высоту. Высота будет определяться глубиной погружения детали в гальваническую ванну (чтобы заранее определить высоту, следует предварительно нанести на электролизёр метку, до которой будет наливаться электролит). При наличии микрометра можно также измерить толщину боковых граней и учесть их, однако, этой площадью можно и пренебречь.

Например, при ширине стальной пластины 15 мм и глубине погружения в раствор электролита 50 мм площадь покрытия с одной стороны пластины будет равна  $15 \cdot 50 = 750 \text{ мм}^2$ , с двух сторон  $1500 \text{ мм}^2$ , или  $0,15 \text{ дм}^2$ . При заданной плотности тока  $i=1 \text{ А/дм}^2$  сила тока  $I$  от источника питания составит  $0,15 \text{ А}$ . При одновременном нанесении покрытия на две стальных пластины сила тока должна быть вдвое больше ( $0,3 \text{ А}$ ).

В качестве анодов следует использовать пластины (либо проволоку) из соответствующего металла: цинковые при цинковании, медные при меднении.

Обратите также внимание, что в промышленности не наносят покрытие на каждую деталь в отдельности, а загружают сразу много изделий на специальные подвески (крупные, хрупкие детали) или в барабаны (мелкие детали). Мы тоже можем сэкономить время, если будем наносить одновременно два покрытия разной толщины. Как их при этом нужно соединить – последовательно или параллельно? Последовательно, чтобы протекал ток одинаковой силы. Силу тока при этом следует увеличить пропорционально суммарной площади покрываемой поверхности.

#### 2.2.5. Учебное занятие 5 «Изучаем ГОСТ» (10 минут).

Обратите внимание учащихся, что к получаемым в промышленности гальваническим покрытиям предъявляются определённые требования, которые изложены в государственном стандарте (ГОСТ), едином для всех предприятий.

Предложите ознакомиться с выдержкой из **ГОСТ 9.301-86 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования» (карточка 2)**. Обсудите, какие требования нужно соблюсти при подготовке поверхности к покрытию, а также после нанесения покрытия.

Какие параметры поверхности покрытия нужно проверить? Каким образом мы можем выполнить указанные требования? Какие методы нужно для этого использовать?

Продемонстрируйте **видеофрагмент «Методы изучения коррозии»**.

Предложите учащимся назвать, какие приборы используют учёные для изучения поверхности изделий (аналитические весы, лазерный микроскоп), а также обсудить в группах, какие исследования мы можем провести в школьной лаборатории, чтобы выполнить требования ГОСТ. *При наличии времени можно предложить учащимся подготовить краткие сообщения об указанных методах исследования и приборах (приложение Б).*

Как измерить толщину полученного покрытия? Можно ли для этого использовать весы? Как от массы перейти к толщине? Для этого нужно знать плотность металла и площадь осаждения.

При наличии времени и уровня подготовки предложите учащимся вывести формулу для расчёта средней толщины покрытия  $H_{cp}$  (мкм) на прямоугольной поверхности. В случае затруднений сообщите результат:

$$H_{cp} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 10^4}{S \cdot \rho},$$

где  $m_1$  – масса деталей после нанесения покрытия, г;  $m_2$  – масса деталей до нанесения покрытия, г;  $S$  – площадь покрытия, см<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность металла покрытия, г/см<sup>3</sup>.

Можно ли взвешивать образец сразу после нанесения покрытия? Нет, это можно делать после высушивания.

А как измерить пористость? Какой прибор используется для этого учёными? Лазерный микроскоп. Что делать, если у нас нет такого микроскопа. Можем ли мы увидеть поры невооружённым глазом? Нет.

Попросите учащихся предложить способ измерения пористости, зная, что поры доходят сквозь покрытие до поверхности металла-основы. Металл-основа – железо, если оно будет растворяться, то образуются ионы  $Fe^{2+}$ . Какая качественная реакция позволяет обнаружить ионы  $Fe^{2+}$ ? Взаимодействие с красной кровяной солью (гексацианоферрат калия  $K_3[Fe(CN)_6]$ ).

Попросите учащихся ознакомиться с текстом **карточки 3 «Определение пористости покрытия методом наложения фильтровальной бумаги»**.

Прежде чем перейти к нанесению покрытий, обсудите, все ли испытания образцов понятны?

## Занятие 3

2.2.6. Учебное задание 6 «Получаем гальванические покрытия» (45 минут).

Попросите учащихся ещё раз вспомнить последовательность технологического процесса нанесения гальванических покрытий.

Как будем зачищать, обезжиривать и активировать образец?

Из чего собираем гальваническую ванну? Как подключаем её к источнику тока? К какому полюсу источника тока нужно подключить покрываемый образец, к какому полюсу – растворимый анод? В случае меднения, чтобы предотвратить химическое осаждение меди, катоды следует загружать в гальваническую ванну «под током», то есть будучи подключенным к отрицательному полюсу источника тока.

*Шаг 2. Предложите учащимся последовательно выполнить указанные выше операции и получить покрытия.*

*В зависимости от наличия оборудования и возможно два варианта получения гальванических покрытий:*

- 1) цинкование и меднение (по вариантам) проводятся учащимися в группах;*
- 2) цинкование и меднение (одновременно) проводятся учителем, при этом число покрываемых стальных образцов соответствует числу групп учащихся;*
- 3) цинкование и меднение (одновременно) проводятся учителем, при этом покрывается два стальных образца цинком (3 и 6 мкм) и два образца медью (3 и 6 мкм).*

*В случае вариантов 2 и 3 при расчёте суммарной силы тока следует учесть общую площадь всех покрываемых стальных образцов, соединяя их последовательно.*

*Шаг 3. Обсудите, какие показатели качества покрытия, установленные ГОСТом, можно определить сразу после получения. Это визуальный осмотр.*

Как отличаются покрытия из разных металлов и разной толщины по внешнему виду? Какое покрытие (медное) может выполнять не только защитную, но и декоративную функцию?

Можно ли взвешивать образцы, определять пористость сразу после нанесения покрытия? Почему? Нет. Предварительно покрытые образцы нужно высушить.

Поместите образцы с покрытиями в сушильный шкаф либо положите на радиатор отопления.

## Занятие 4

*2.2.7. Учебное задание 7 «Определяем показатели качества покрытия» (15 минут).*

*Шаг 1. Предложите учащимся определить необходимые показатели качества покрытия – толщину и пористость. В целях экономии времени эти показатели можно определить в парах – двое учащихся из групп проводят взвешивание и расчёты толщины, остальные двое – определение пористости.*

*Шаг 2. Обсудите полученные результаты.*

Если толщина покрытия получилась больше или меньше заданной, какие причины могли на это повлиять? Можно ли усомниться в правильности закона Фарадея, или это иные причины? Какие? Например, точность взвешивания, неполное

высушивание покрытия, протекание на катоде в гальванической ванне других процессов, растворение металла-покрытия в электролите.

Как отличается пористость цинкового и медного покрытия одинаковой толщины? На цинковом покрытии не должно быть заметных пор. На медном покрытии толщиной 6 мкм пор должно быть меньше.

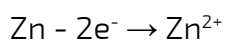
### 2.2.8. Учебное задание 8 «Механизм защитного действия» (10 минут).

*Шаг 1.* Для подтверждения различий в механизме защитного действия анодного (Zn) и катодного (Cu) покрытия предложите провести испытание, моделирующее разрушение защитного слоя. Для этого нужно скальпелем либо гвоздём нанести несколько глубоких царапин, достигающих до металла-основы и затем обернуть образец фильтровальной бумагой, смоченной в растворе для определения пористости.

Что наблюдаем на месте царапин? Для цинкового покрытия изменений не будет, для медного – яркое синее окрашивание.

*Шаг 2.* Обсудите с учащимися, что означает данное наблюдение. Почему в контакте с цинком сталь не разрушается? Потому что при этом происходит растворение цинка, имеющее более отрицательный электродный потенциал:

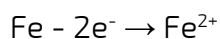
Цинк будет защищать стальное изделие до тех пор, пока полностью не растворится. Например, можно видеть выброшенные на помойку оцинкованные вёдра, которые, будучи старыми, дырявыми, не имеют следов ржавчины, пока на них сохраняется слой цинка.



Fe →

Слой меди защищает стальное изделие лишь будучи сплошным, не нарушенным. После нарушения целостности сталь начинает активно растворяться:

Cu →



То есть, медное покрытие защищает механически. В основном, оно выполняет декоративные либо вспомогательные (например, для последующего никелирования сантехнических изделий – кран, душ и т.п.) функции. На старых кранах со стёртым слоем никеля можно видеть нанесённый на поверхность стали красный подслои меди.

### 3. Подведение итогов по проектной части. Рефлексия (20 минут).

*Шаг 1.* Предложите учащимся проанализировать преимущества гальванического метода по сравнению с иными известными способами получения металлических защитных покрытий на изделиях из конструкционных материалов. Какие способы нам известны? В чём преимущества каждого из них? От каких агрессивных сред может защитить такое покрытие? Действительно ли удобен данный метод? С какими проблемами и рисками мы можем столкнуться при формировании покрытия?

*Шаг 2.* Обсудите, какие из нижеперечисленных утверждений относятся к гальваническому способу формирования покрытий? Заполните вместе с учащимися таблицу:

| Утверждение  | Верно<br>Неверно<br>Верно отчасти |
|--|-----------------------------------|
| Способ позволяет формировать покрытия на деталях сложной формы   | <i>верно</i>                      |
| Способ экологичен, не наносит ущерба природе и человеку          | <i>верно отчасти</i>              |
| Способ позволяет экономить дорогостоящие реагенты и оборудование | <i>верно отчасти</i>              |
| Способ позволяет экономить электроэнергию                        | <i>неверно</i>                    |
| Способ позволяет получить наиболее долговечные покрытия          | <i>неверно</i>                    |

*Шаг 3.* Обсудите с учащимися:

- какую мы себе поставили проектную задачу? (разработать доступный способ защиты стальных изделий от коррозии);
- удалось ли нам это сделать, какие возникли затруднения?
- что нам помогло? (познакомились со способами нанесения защитных покрытий, анодными и катодными покрытиями; составили перечень необходимого оборудования, познакомились с критериями качества покрытий и т.п.);

- что нам нужно учесть в следующий раз, когда будем выполнять аналогичный проект? (учащиеся формулируют свои предложения: назначение и жизненный цикл изделия, имеющееся оборудование и реактивы, отведённое на работу время и т.п.).

У учащихся могут появиться иные вопросы и предложения, которые следует прокомментировать.

В заключение спросите, какие теоретические знания пригодились при решении проектной задачи? Учащиеся убедились в том, что теория и практика связаны друг с другом. Решения технических проблем надо искать в разных предметах, которые взаимосвязаны друг с другом – хорошо знать химию без физики, математики, биологии невозможно.

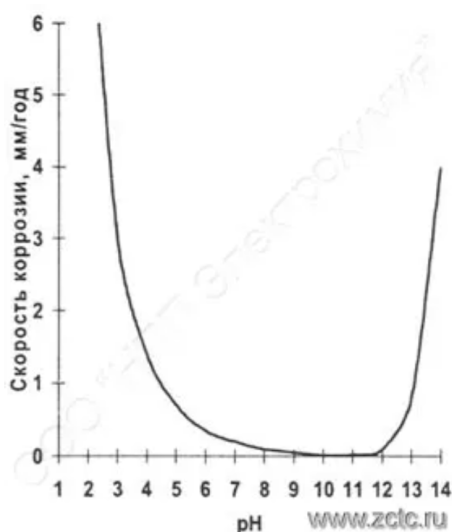
## Проверочные задания (с решениями)

**№1. Задание, аналогичное формату международных и национальных исследований качества образования.**

Прочитайте текст.

### Коррозия цинка.

Цинк по своей природе является реакционноспособным металлом. Его стандартный электродный потенциал составляет  $-0,763$  В, что ниже, чем у железа, олова, никеля. В условиях повышенной влажности, в химически агрессивных средах цинковые покрытия довольно быстро подвергаются коррозии. Это наглядно иллюстрирует график на рисунке. При коррозии неизбежно портится и внешний вид изделий из цинка или имеющих цинковое покрытия.



*Зависимость скорости коррозии цинка от pH среды*

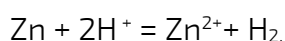


Примечание: pH – показатель кислотно-основных свойств среды, который возрастает с уменьшением содержания ионов  $H^+$ ; в нейтральной среде  $pH = 7$ .

Используя данные графика, объясните, какие химические процессы могут приводить к коррозии цинка.

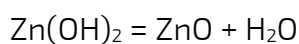
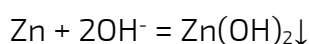
**Решение.** На графике можно выделить три участка изменения скорости коррозии цинка: 1) среда кислая ( $pH < 7$ ); 2) среда нейтральная, слабощелочная ( $pH = 7-12$ ); 3) среда сильнощелочная ( $pH > 12$ ).

В кислой среде коррозионным агентом выступает ион водорода:

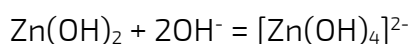
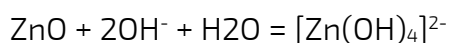
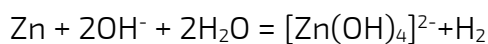


Чем больше концентрация  $H^+$ , тем сильнее протекает коррозия.

В нейтральной и слабощелочной среде коррозия практически не протекает. Это можно объяснить образованием на поверхности металла малорастворимой защитной пассивной плёнки, например, гидроксида цинка или его оксида:



В сильнощелочной среде цинк, его оксид и гидроксид растворяются за счёт образования тетрагидроксоцинката:



Критерии оценивания:

|   |       |
|---|-------|
| Содержание верного ответа и указания по оцениванию<br>(допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)  | Баллы |
| На графике выделены три области с различными скоростями коррозии цинка, указан характер среды: кислая ( $pH < 7$ ), нейтральная, слабощелочная ( $pH = 7-12$ ), сильнощелочная ( $pH > 12$ ). | 1     |

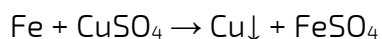
|   |   |
|---|---|
| Указан характер среды кислая ( $\text{pH} < 7$ ); 2) среда нейтральная, слабощелочная ( $(\text{pH} = 7-12)$ ); 3) среда сильнощелочная ( $(\text{pH} > 12)$ ). | 1 |
| Правильно записано хотя бы одно уравнение реакции, протекающей в первой области.  | 1 |
| Правильно записано хотя бы одно уравнение реакции, протекающей во второй области.   | 1 |
| Правильно записано хотя бы одно уравнение реакции, протекающей в третьей области.   | 1 |
| Максимальный балл   | 5 |

## №2. Задание, аналогичное формату ГИА.

К 160 г раствора сульфата меди с массовой долей 10 % добавили избыток железных опилок. Определите массу выделившегося осадка.

### Решение.

Составим уравнение реакции:



Вычислим массу и количество вещества в растворе сульфата меди в растворе:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{CuSO}_4) / 100 = 160 \cdot 10 / 100 = 16 \text{ (г)}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = m(\text{CuSO}_4) / M(\text{CuSO}_4) = 16 / 160 = 0,1 \text{ (моль)}$$

Вычисли массу осадка меди:

$$n(\text{Cu}) = n(\text{CuSO}_4) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,1 \cdot 64 = 6,4 \text{ (г)}$$

Ответ: 6,4 г.

---

### **№3. Тестовые задания**

#### **3.1. Выберите два правильных варианта ответа.**

Анодным покрытием на стали является:

- а) Au;
- б) Hg;
- в) Mn;
- г) Zn.

#### **Решение.**

Анодным покрытием на стали будет металл, имеющих более отрицательный электродный потенциал, то есть стоящий в ряду напряжений левее Fe. Это Zn и Mn.

**Ответ:** в, г.

#### **3.2. Выберите два правильных варианта ответа.**

Катодным покрытием на стали является:

- а) Ag;
- б) Cd;
- в) Cu;
- г) Mg.

#### **Решение.**

Катодным покрытием на стали будет металл, имеющих более положительный электродный потенциал, то есть стоящий в ряду напряжений правее Fe. Это Ag и Cu.

**Ответ:** а, в.

#### **3.3. Выберите два правильных варианта ответа.**

В процессе электрохимического цинкования цинк:

- а) растворяется на катоде;
- б) образуется на аноде;
- в) растворяется на аноде;

г) образуется на катоде.

**Решение.** В процессе электрохимического цинкования цинк растворяется на аноде и образуется на катоде.

**Ответ:** в, г.

**3.4. Выберите два правильных варианта ответа.**

Закон Фарадея связывает массу вещества и:

- а) напряжение на электродах;
- б) силу тока;
- в) время электролиза;
- г) концентрацию растворённого вещества в электролите.

**Решение.** Закон Фарадея определяет массу вещества в зависимости от силы тока и времени его протекания.

**Ответ:** б, в.

**3.5. Выберите два правильных варианта ответа.**

Укажите недорогие и технически простые метод количественного изучения процесса коррозии металла:

- а) гравиметрия;
- б) наложение фильтровальной бумаги;
- в) визуальный анализ;
- г) лазерная микроскопия.

**Решение.** К недорогим и технически простым методам количественного изучения процесса коррозии металла относятся гравиметрия и наложение фильтровальной бумаги.

**Ответ:** а, б.

## Приложение А

### Краткая биография М. Фарадея

Английский физик Майкл Фарадей родился в 1797 г в предместье Лондона в семье кузнеца. Окончив начальную школу, с двенадцати лет он работал разносчиком газет, а в 1804 г. поступил в ученики к переплетчику Рибо, французскому эмигранту, всячески поощрявшему страстное стремление Фарадея к самообразованию. Чтением и посещением публичных лекций молодой Фарадей стремился пополнить свои знания, причем его влекли главным образом естественные науки – химия и физика. В 1813 г. один из заказчиков подарил Фарадею пригласительные билеты на лекции Гемфри Дэви в Королевском институте, сыгравшие решающую роль в судьбе юноши. Обратившись с письмом к Дэви, Фарадей с его помощью получил место лабораторного ассистента в Королевском институте.



В 1813–1815 гг., путешествуя вместе с Дэви по Европе, Фарадей посетил лаборатории Франции и Италии. После возвращения в Англию научная деятельность Фарадея протекала в стенах Королевского института, где он сначала помогал Дэви в химических экспериментах, а затем начал самостоятельные исследования. Фарадей осуществил сжижение хлора и некоторых других газов, получил бензол. В 1821 г. он впервые наблюдал вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита, создал первую модель электродвигателя. В течение последующих 10 лет Фарадей занимался исследованием связи между электрическими и магнитными явлениями. Его исследования увенчались открытием в 1831 г. явления электромагнитной индукции. Фарадей детально изучил это явление, вывел его основной закон, выяснил зависимость индукционного тока от магнитных свойств среды, исследовал явление самоиндукции и экстратоки замыкания и размыкания. Открытие явления электромагнитной индукции сразу же приобрело огромное научное и практическое значение; это явление лежит, например, в основе работы всех генераторов постоянного и переменного тока.

Стремление выявить природу электрического тока привело Фарадея к экспериментам по прохождению тока через растворы кислот, солей и щелочей. Результатом этих исследований стало открытие в 1833 г. законов электролиза (законы Фарадея). В 1845 г. Фарадей обнаружил явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея). В том же году он открыл

диамагнетизм, в 1847 г. – парамагнетизм. Фарадей ввёл в науку ряд понятий – катода, анода, ионов, электролиза, электродов; в 1833 г. он изобрел вольтметр. Используя огромный экспериментальный материал, Фарадей доказал тождественность известных тогда «видов» электричества: «животного», «магнитного», термоэлектричества, гальванического электричества и т.д.

В 1840 г., ещё до открытия закона сохранения энергии, Фарадей высказал мысль о единстве «сил» природы (различных видов энергии) и их взаимном превращении. Он ввёл представления о силовых линиях, которые считал физически существующими. Идеи Фарадея об электрическом и магнитном полях оказали большое влияние на развитие всей физики. В 1832 г. Фарадей высказал мысль о том, что распространение электромагнитных взаимодействий есть волновой процесс, происходящий с конечной скоростью; в 1845 г. он впервые употребил термин «магнитное поле».

В 1824 г., несмотря на противодействие Дэви, претендовавшего на открытия своего ассистента, Фарадей был избран членом Королевского общества, а в 1825 г. стал директором лаборатории в Королевском институте. С 1833 по 1862 гг. Фарадей состоял профессором химии Королевского института. Весьма популярны были публичные лекции Фарадея; широкую известность приобрела его научно-популярная книга «История свечи».

Открытия Фарадея завоевали широчайшее признание во всём научном мире; его именем впоследствии были названы законы, явления, единицы физических величин и т.д. Русский физик А. Г. Столетов так охарактеризовал значение Фарадея в развитии науки: «Никогда со времен Галилея свет не видал стольких поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы». В честь Майкла Фарадея Британское химическое общество учредило медаль Фарадея.

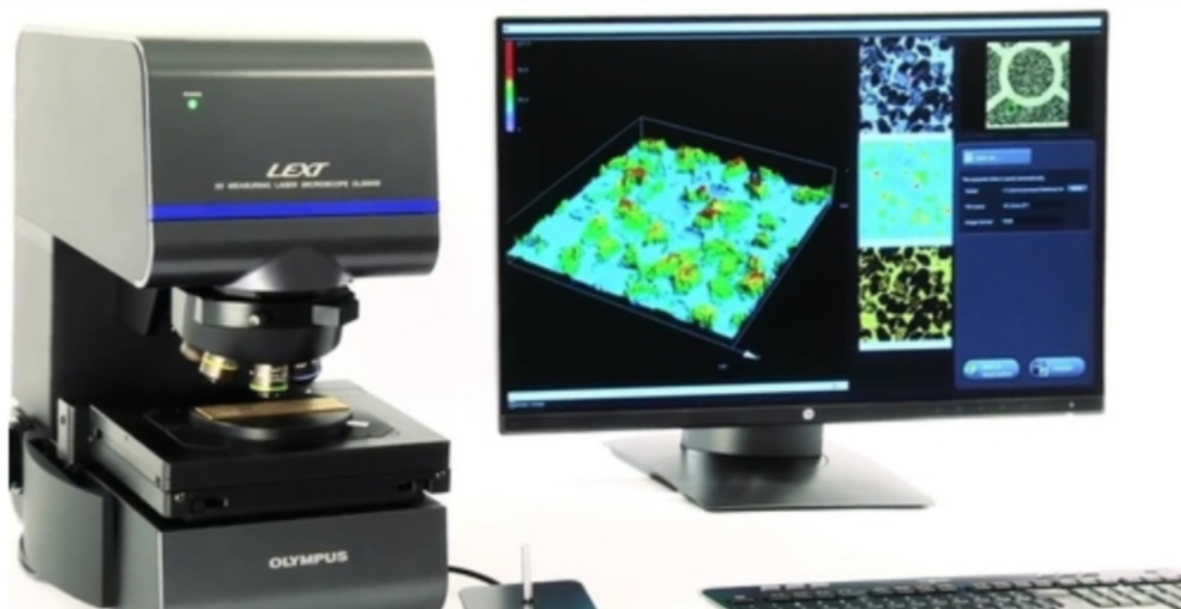
**Источник:** Биографии великих химиков / под ред. Г. В. Быкова. – М. : Мир, 1981. – 320 с.

## Приложение Б

### Приборы и методы исследования коррозии и защитных покрытий

#### Лазерный микроскоп

Лазерный микроскоп при помощи лазера, который установлен как осветительный источник, может давать изображение с *высоким разрешением*. Тогда, когда в обычном микроскопе вместо лазера установлены самые обыкновенные ртутные либо ксеноновые лампы в качестве осветителя, лазерные осветительные системы имеют высокую параллельность излучаемого света, и именно по этой причине наличия такого оборудования достигается высокая точность фокусировки.



Современные *конфокальные микроскопы* совмещают преимущества конфокальной микроскопии, интерферометрии и изменения фокуса, они не оснащаются подвижными элементами, что существенно повышает их надежность.

Конфокальный лазерный сканирующий микроскоп способен создавать изображение срезов изучаемого объекта. Это осуществляется благодаря тому, что лазер фокусируется на заданную глубину объекта и желает послойный снимок изучаемого микрообъекта с повышенным контрастированием. Это дает возможность более точно и комфортно изучить нюансы его структуры. Программное обеспечение способно сложить полученную информацию в 3D-модель объекта.

## Весы

Весы – прибор, позволяющий определять массу предметов и материалов с высокой степенью точности количественно. Лабораторные весы – это прибор, который измеряет массу грузов с минимальной погрешностью. Это высокоточные приборы подходят для взвешивания твердых тел, сыпучих веществ или жидкостей.



Весовое оборудование бывает механическое и электронное. С 2001 г. в лабораторных целях разрешено использовать только цифровые модели. Современные модели лабораторных весов не только определяют массу, но и сами выполняют математические расчеты. Это понижает вероятность ошибки (человеческого фактора) при потоковом проведении исследований.

## Гравиметрия

*Гравиметрический анализ – метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении массы вещества.*

Метод использует закон сохранения массы веществ при химических превращениях. Он сыграл большую роль в становлении закона постоянства состава химических соединений, закона кратных отношений, периодического закона и др.

В настоящее время применяется в лабораториях для определения химического состава различных объектов (горных пород и минералов), качества сырья и готовой продукции, содержания кристаллизационной воды в солях, зольности топлива и т. д.

К достоинствам гравиметрического анализа относят высокую точность (обычно погрешность составляет 0,1–0,2 %) и отсутствие необходимости в предварительной градуировке измерительных приборов. С другой стороны, его проведение зачастую более трудоёмко и занимает больше времени по сравнению с другими методами.



## Профилометрия

*Профилометрия* – метод изучения профиля сечения поверхности в плоскости, перпендикулярной к ней и ориентированной в заданном направлении.

Регистрация *профилограмм*, а также получение трёхмерного изображения поверхностей твёрдых тел, может производиться приборами контактного или бесконтактного типа. Приборы, предназначенные для этого, называются профилометрами. В приборах контактного типа копирование профиля осуществляется путём перемещения иглы по шероховатой исследуемой поверхности. К приборам бесконтактного типа относятся оптические и растровые электронные микроскопы, а также приборы, использующие для сканирования поверхности монохроматическое (в частности, лазерное) излучение.



*Оптические профилометры* являются интерференционными и/или конфокальными микроскопами и используются для измерения изменений высоты поверхности с большой точностью. 3D-оптические профилометры – наиболее известные приборы, позволяющие получать точные измерения шероховатости поверхности.

*Оптическая профилометрия* применяет волновые свойства света для сравнения оптической разности пути между тестовой и эталонной поверхностью. Свет проходит через делительную призму, часть пучка попадает на образец, шероховатость которого измеряется, а другая – на опорное зеркало. Когда расстояние от делительной призмы до зеркала такое же, как от испытательной поверхности, и лучи, отраженные от этих поверхностей, встречаются и интерферируют, возникают конструктивные и разрушительные помехи – светлые и темные полосы, известные как интерференционные полосы.

Если длина волны известна, возможно рассчитать разницу высот по поверхности в долях волны. Из этих различий в высоте получается измерение поверхности – своеобразная трехмерная карта поверхности.

Конфокальные профилометры служат для анализа рельефа разных поверхностей. *Конфокальная профилометрия поверхности* превосходит по уровню разрешения все виды оптических приборов. Пространственная выборка в данном случае может снижаться до 100 нм, поэтому можно проводить анализ очень небольших предметов.