

Министерство образования Российской Федерации  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Общая и неорганическая химия"

**КОРРОЗИЯ  
И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ**

**Методические указания к практическим занятиям по курсу  
общей химии для химических и нехимических  
специальностей**

Нижний Новгород  
2001

Составители: Л.А.Смирнова, Г.Ф.Володин, А.Л.Галкин, Т.В.Сазоньева,  
Г.А.Паничева

УДК 54 (07)

Коррозия и защита металлов от коррозии: Метод. указания к практ.  
занятиям по курсу общей химии/ НГТУ; Сост.: Л.А.Смирнова, Г.Ф.Володин и  
др. Н.Новгород, 2001. 15 с.

Кратко изложена теория коррозионных процессов. Даны примеры  
решения типовых задач, вопросы и задачи для домашних и практических  
занятий, а также описание лабораторных работ по теме.

Научный редактор Ю.М.Тюрин

Редактор И.И.Морозова

Подп.к печ.24.01.01.Формат 60x84 1/16.Бумага газетная. Печать  
офсетная.

Печ.л. 1,0. Уч.-изд.л.0,9.Тираж 2000 экз. Заказ 61.

---

Нижегородский государственный технический университет.  
Типография НГТУ. 603600, Н.Новгород, ул.Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет, 2001

Коррозия - это процесс самопроизвольного разрушения металлов при их химическом, электрохимическом или биохимическом взаимодействии с частицами окружающей среды. Коррозионные процессы относятся к разряду окислительно - восстановительных реакций, в которых металл всегда является восстановителем, а частицы окружающей среды выступают в роли окислителя. Наиболее распространенным окислителем является атмосферный кислород.

Различают химическую, электрохимическую и биохимическую коррозию. **Химическая коррозия металлов** - это разрушение металлов под действием агрессивных газов при высоких температурах (газовая коррозия), а также разрушение металлов в растворах неэлектролитов, т.е. в непроводящих средах.

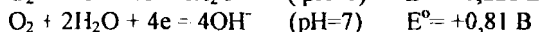
**Биохимическая коррозия** вызывается жизнедеятельностью различных микроорганизмов, использующих металл в качестве питательной среды. Биокоррозия обычно сочетается с другими видами коррозии. Для ее развития наиболее благоприятны почвы определенного состава, застойные воды и некоторые органические продукты.

**Электрохимическая коррозия** встречается чаще других видов коррозионного разрушения и наиболее опасна для металлов. Она может протекать в газовой атмосфере, когда на поверхности металла возможна конденсация влаги (атмосферная коррозия), в почве (почвенная коррозия), в соленой и пресной воде.

В зависимости от характера разрушений при электрохимической коррозии различают сплошную коррозию, захватывающую всю поверхность металла и местную коррозию, локализирующуюся на определенных участках. Очаги местной коррозии могут иметь вид пятен (пятнистая коррозия) или точек (питтинговая коррозия), которые могут захватывать зерна только одного из компонентов сплава (избирательная или селективная коррозия), проходить через все зерна в виде узких трещин (транскристаллитная коррозия) или сосредоточиться на границах зерен (межкристаллитная коррозия).

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ

Окислителем при электрохимической коррозии металлов может быть растворенный в воде кислород. В этом случае говорят, что коррозия протекает с кислородной деполяризацией:



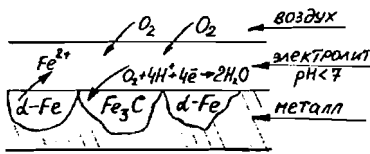
Таким образом, в кислой среде подвергаться коррозии с кислородной деполяризацией могут металлы, стандартный электродный потенциал которых отрицательнее +1,23 В, в нейтральной +0,81 и щелочной - отрицательнее +0,4В.

Активные металлы в кислой среде корродируют с водородной деполяризацией, т.е. в качестве окислителя выступают свободные ионы водорода:

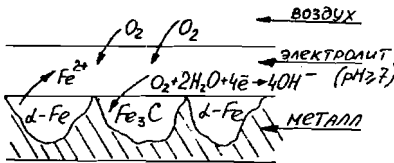
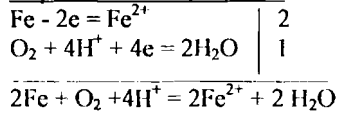


Наиболее простой моделью коррозионного процесса, идущего по электрохимическому механизму, является модель коррозионного гальванического элемента. Возникновение катодных и анодных участков на поверхности металла связано с химической и геометрической неоднородностью поверхности; механическими напряжениями; неоднородностью коррозионной среды; температурным градиентом поверхности; контактом с другими металлами и многими другими факторами. Рассмотрим некоторые из этих факторов более подробно.

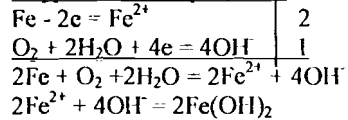
**Химическая неоднородность поверхности.** Ниже приведены схемы коррозии углеродистой стали для различных сред, в которых пассивными (катодными) участками являются зерна карбида железа ( $Fe_3C$ ).



Коррозионные процессы:

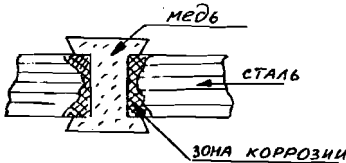


Коррозионные процессы:

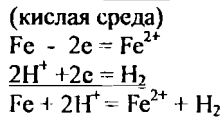


В данном примере рассматривается работа коррозионной микрогальванопары - металл и его соединение. При коррозии эвтектического сплава возможен процесс селективного выгравливания зерен одного из компонентов (более активного металла).

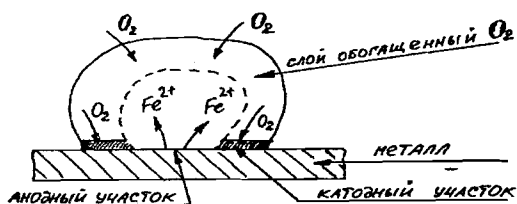
**Контактная коррозия металлов.** При контакте двух различных металлов, находящихся в растворе электролита, анодным участком будет более активный металл. Например:



Коррозионные процессы:



**Влияние неоднородности состава коррозионной среды.** Неоднородность состава среды может приводить к образованию микрогальванопар даже на поверхности одного и того же металла. Примером может служить коррозия металла под каплей воды. Так как поверхностные слои воды содержат больше растворенного кислорода, чем внутренние, поверхность металла в центре под каплей оказывается более активной (анодный участок). После высыхания капли в центре металлической пластинки появляется довольно глубокое пятно ржавчины. Такие процессы наиболее часто наблюдаются при атмосферной и почвенной коррозии. В общем случае неоднородность состава среды приводит к неравенству электродных потенциалов на различных участках поверхности металла, что и способствует образованию микрогальванопар.



**Механические напряжения.** Коррозионные микрогальванопары могут возникать при действии внешних и внутренних механических напряжений (например, остаточные напряжения после сварки). Коррозия при действии внешних и внутренних напряжений приводит к межкристаллитному растрескиванию или так называемой "ножевой" коррозии.

#### КИНЕТИКА КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Практическая деятельность дает много примеров того, как более активные металлы корродируют значительно медленнее, чем менее активные. Например, скорость коррозии алюминия в атмосферных условиях значительно меньше скорости коррозии железа, хотя стандартный электродный потенциал алюминия намного более отрицателен. Этот факт говорит о том, что помимо влияния термодинамических факторов на процессы коррозии необходимо учитывать и кинетические факторы, к наиболее важным из которых следует отнести способность металлов переходить в пассивное состояние.

Процесс пассивации металлов связан с образованием на их поверхности тонких (до нескольких молекулярных слоев) пленок малорастворимых соединений - оксидов, гидроксидов, солей.

Скорость коррозии в значительной степени зависит и от скорости восстановления частиц окислителя на катодных участках поверхности металла. В случае коррозии с кислородной деполаризацией наиболее замедленными

(лимитирующими) стадиями могут быть диффузия молекул кислорода к корродирующей поверхности (обычные условия) или реакция восстановления кислорода (при сильном перемешивании коррозионной среды или при очень тонких пленках влаги на поверхности металла). Скорость восстановления кислорода характеризуется его перенапряжением ( $\eta_{O_2, B}$ ), т.е. степенью затрудненности процесса на данном металле. Чем меньше перенапряжение, тем больше скорость реакции восстановления кислорода и тем быстрее протекает коррозия металла.

Соответственно коррозия с водородной деполаризацией протекает тем быстрее, чем меньше перенапряжение реакции выделения водорода ( $\eta_{H_2, B}$ ), которое лимитируется скоростью реакции восстановления ионов водорода. Например, цинк, как активный металл, термодинамически неустойчив в кислых средах. Однако он очень медленно вытесняет водород из растворов кислот, так как скорость восстановления водорода на нем очень мала (большое перенапряжение реакции). В контакте с медью, на которой восстановление водорода протекает значительно быстрее, цинк разлагает кислоты очень активно, что отсмещается по значительному выделению водорода.

#### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

Влияние pH раствора. Пассивация металла чаще всего связана с образованием на его поверхности малорастворимых пленок оксидов и гидроксидов. Реакция среды, т.е. pH раствора, влияет на характер растворимости этих пленок. В том случае, если они обладают основными свойствами, защитное действие их будет в большей степени проявляться в щелочных средах, где растворимость этих пленок меньше. Если оксидные (гидроксидные) пленки металлов обладают кислотными свойствами, коррозионная устойчивость металлов будет в большей степени проявляться в кислых средах. В соответствии с этим все металлы можно разделить на ряд групп:

- 1) металлы, неустойчивые в кислых, но коррозионностойкие в щелочных средах (Ni, Co, Cd, Mg, Mn, Fe);
- 2) металлы, коррозионностойкие в кислых, но не устойчивые в щелочных растворах (Ta, Mo, W);
- 3) металлы, коррозионностойкие в нейтральных растворах, но неустойчивые в кислых и щелочных средах (Zn, Al, Sn, Pb, Bi, Be): У этих металлов защитные слои имеют амфотерный характер;
- 4) металлы, скорость коррозии которых практически не зависит от pH среды (Ag, Au, Pt).

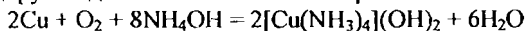
Состав нейтральных растворов. Скорость коррозии металлов в водных растворах зависит от природы растворенных в воде веществ. Влияние растворенных веществ может быть связано со следующими факторами:

- 1) гидролизующиеся соли изменяют pH растворов и тем самым влияют на растворимость поверхностных соединений металла;

2) растворенное в воде вещество может давать с металлом или продуктами его коррозии пленку малорастворимых соединений, тем самым пассивируя его;

3) некоторые анионы (например ионы  $\text{Cl}^-$ ), адсорбируясь на поверхности металла, разрушают оксидную пленку и ускоряют процесс коррозии. Такие частицы часто называют депассиваторами коррозии.

Комплексообразование. Наличие в растворе веществ, таких как  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CN}^-$  и др., способствующих образованию комплексных соединений, резко увеличивает скорость коррозии. Например, медь, коррозионноустойчивый металл, в растворе аммиака корродирует с достаточно большой скоростью:



Увеличение скорости коррозии связано с тем, что комплексообразование увеличивает восстановительную активность металла за счет сдвига его потенциала в отрицательную сторону. Например:  $E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0,337\text{В}$ ;  $E^\circ_{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}/\text{Cu}} = -0,04\text{В}$ .

### МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Методы защиты металлов от коррозии можно разделить на несколько групп.

**1. Методы, основанные на изоляции металла от окружающей среды путем создания на его поверхности специальных покрытий.** Покрытия могут быть металлическими, неметаллическими и химическими.

Металлические покрытия делятся на два класса.

а) Анодные покрытия. Это покрытия металлами, потенциал которых более отрицателен, чем потенциал основного металла. Например, для железа анодными покрытиями будут цинк и хром, т.е. более активные металлы.

б) Катодные покрытия. Это покрытия металлами, у которых потенциал более положителен, чем у покрываемого металла. Для железа в качестве катодных покрытий можно использовать никель и олово.

Неметаллические покрытия. Представляют собой изолирующие слои красок, лаков, резины, эмалей, пластмасс и др.

Химические покрытия. Это специально создаваемые на поверхности металла его химически стойкие соединения, способные изолировать его от окружающей среды: оксиды, фосфаты, сульфаты и др.

**2. Методы, основанные на специальной обработке коррозионной среды.** К ним относят процессы нейтрализации, обескислороживания, введение ингибиторов (замедлителей) коррозии. Методы используются в случаях, когда объем коррозионной среды ограничен. В качестве ингибиторов могут служить как неорганические, так и органические вещества: хроматы, фосфаты, сурик, формальдегид, амины, уротропин и др. Ингибиторы могут замедлять как анодную реакцию окисления металла, так и катодную стадию восстановления окислителя. Механизм действия ингибиторов может быть различен, однако наиболее часто эффект замедления коррозии связан с адсорбционным взаимодействием частиц ингибитора и поверхностью металла

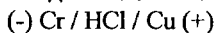
3. **Электрохимические методы защиты.** К этим методам относят катодную, анодную и протекторную защиту. Катодная защита - защищаемый металл присоединяется к отрицательному полюсу источника постоянного тока, а к положительному полюсу подсоединяется вспомогательная пластина, которая и подвергается анодному окислению, тогда как на защищаемом металле идет процесс восстановления молекул воды и растворенного в ней кислорода. Анодная защита - применяется только для легко пассивирующихся металлов. Корродирующий металл на короткое время присоединяют к положительному полюсу источника тока для создания на его поверхности защитной пленки оксида или гидроксида. Протекторная защита - состоит в том, что к корродирующему металлу подсоединяется (омический контакт) более активный металл, не образующий на своей поверхности защитных пленок. В результате, в условиях коррозионной среды этот металл является анодом и окисляется, а на защищенном металле идет реакция восстановления частиц окислителя.

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

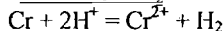
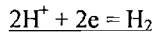
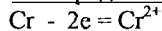
**ПРИМЕР 1.** Составьте схему коррозионного гальванического элемента и запишите реакции, протекающие при его работе.

Хром в контакте с медью находится в кислой среде (HCl). Какой металл будет подвергаться коррозии? Определите знаки потенциалов металлов.

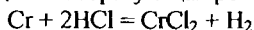
Решение. По таблице значений стандартных электродных потенциалов находим, что более активным металлом является хром, имеющий более отрицательный потенциал. Следовательно, в образовавшемся гальваническом элементе хром будет отрицательным электродом, а медь - положительным.



Электродные процессы:

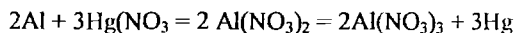


В молекулярном виде токообразующая реакция имеет следующий вид:



**ПРИМЕР 2.** Влияние перенапряжения реакции восстановления окислителя на скорость коррозии. Как влияет амальгамирование алюминия на скорость его коррозии в атмосферных условиях?

Решение. В обычных условиях алюминий покрыт пленкой гидроксида (или оксида), предохраняющей его от дальнейшего окисления. Если алюминий опустить в раствор соли ртути, то он как более активный металл будет вытеснять ее из раствора:



В результате реакции на поверхности алюминия образуется пленка металлической ртути, или, точнее, сплав ртути и алюминия - амальгама. При атмосферных условиях (влажный воздух) на поверхности амальгамы имеется тонкая пленка влаги, в которой растворен кислород. В образовавшийся



гальванопаре алюминий, как более активный металл, будет заряжаться отрицательно и подвергаться окислению, а ртуть - положительно, и на ней будет идти процесс восстановления кислорода:

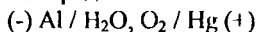
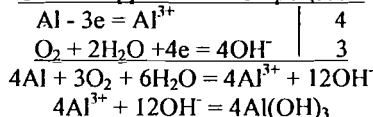


Схема коррозионного процесса:



Так как скорость восстановления кислорода на ртути значительно больше, чем на алюминии ( $\eta_{\text{O}_2}^{\text{Hg}} < \eta_{\text{O}_2}^{\text{Al}}$ ), восстановление кислорода идет преимущественно на ртути. Образующаяся при этом рыхлая пленка гидроксида алюминия не предохраняет его от дальнейшего окисления. Поэтому скорость коррозии амальгамированного алюминия значительно больше, чем чистого.

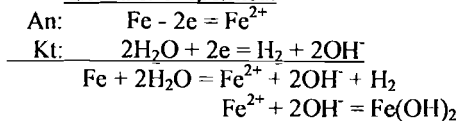
**ПРИМЕР 3. Влияние среды на скорость коррозии.** В каком из водных растворов никель будет более коррозионно устойчив: а) NaCl; б) NaOH; в) NH<sub>4</sub>Cl ?

Решение. а) В водном растворе NaCl, в присутствии ионов Cl<sup>-</sup>, оксидная пленка на поверхности металла растворяется и никель будет корродировать с кислородной деполаризацией. б) В водном растворе NaOH пленка гидроксида никеля, обладающая основными свойствами, малорастворима, поэтому коррозионная устойчивость никеля возрастает. в) В водном растворе NH<sub>4</sub>Cl кроме ионов хлора на скорость коррозии существенно влияет процесс гидролиза соли, в результате которого pH раствора становится ниже 7 (кислая среда). Снижение pH раствора усиливает окислительную способность кислорода (сравни стандартные потенциалы), в результате чего никель в данном растворе будет более коррозионно неустоек, чем в растворе NaCl.

**ПРИМЕР 4. Катодная защита металлов от коррозии.** Цинковая и железная пластины находятся в водном растворе NaCl (аналог морской воды) и подсоединены к внешнему источнику постоянного тока: цинковая - к (-), а железная к (+). Какая из пластин защищена от коррозии? Запишите уравнения коррозионного процесса.

Решение. Так как цинковая пластина подсоединена к отрицательному полюсу источника тока, она будет являться катодом, а железная пластина, присоединенная к (+) - анодом. Под действием электрического тока в образованной системе будет протекать электролиз.

Схема электролиза:



**ПРИМЕР 5. Протекторная защита металлов от коррозии.** Запишите процессы, протекающие при коррозии трубопроводов при использовании цинковых протекторов.

**Решение.** Цинковые пластины, подсоединенные к стальному трубопроводу, образуют гальванопару, в которой Zn, как более активный металл, является анодом и окисляется, тогда как на стали идет реакция восстановления молекул кислорода, находящихся во влажном грунте.

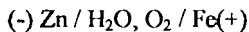
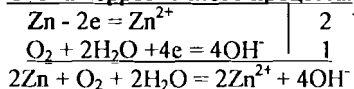


Схема коррозионного процесса:



**ПРИМЕР 6. Применение законов Фарадея к коррозионным процессам.** Скорость коррозии стали в кислой среде  $0,2 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ . Общая площадь поверхности стальной конструкции  $100 \text{ м}^2$ . Какой силы ток нужно пропустить через стальную конструкцию, чтобы полностью подавить коррозию?

**Решение.** Общее уменьшение массы стали за 1 час составляет:

$$m = v \cdot S = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ г/ч}$$

По закону Фарадея сила тока, необходимая для подавления коррозии,

$$I = m \cdot F / \tau \cdot \Theta \quad \text{или} \quad I = 20 \cdot 96500 / 3600 \cdot 28 = 19 \text{ А.}$$

### ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Перечислите существующие виды коррозионных процессов в зависимости от механизма и типа коррозионных разрушений.
2. Какими причинами может быть вызван процесс образования гальванопар при электрохимической коррозии?
3. Почему скорость коррозии металлов, содержащих примеси, намного выше, чем скорость коррозии чистых металлов?
4. Какой из металлов, с полированной или шероховатой поверхностью, будет корродировать быстрее и почему?
5. Как влияют неоднородности структуры и состава металла на его коррозионную устойчивость?
6. Объясните влияние на скорость коррозии металла в грунте следующих факторов: а) наличие влаги; б) воздухопроницаемость; в) электропроводность грунта; г) кислотность грунта; д) неоднородность грунта.
7. Какую роль при атмосферной коррозии металлов играют: а) наличие в воздухе промышленных районов следующих газов  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ; б) наличие твердых частиц  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , попадающих на поверхность металла?
8. Почему из воды, используемой для питания паровых котлов, предварительно удаляется растворенный в воде кислород? Какие методы можно использовать для обескислороживания воды?

9. Почему свинец, имеющий отрицательный электродный потенциал, не вытесняет водород из растворов серной и соляной кислот?

10. Вода не действует на алюминий даже при повышенной температуре. Почему при попадании в воду NaCl алюминий начинает корродировать? В растворе каких солей NaCl или  $\text{NH}_4\text{OH}$  скорость коррозии Al выше?

11. Почему железо, менее активный металл, корродирует в атмосферных условиях быстрее алюминия? Сравните коррозионную устойчивость этих металлов в чистой воде и в водном растворе NaCl.

12. Почему концентрированную серную кислоту можно перевозить в железных цистернах, а разбавленную нельзя?

13. Почему концентрированная азотная кислота и растворы бихромата калия ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) пассивируют железо?

14. Почему для повышения коррозионной устойчивости металлов используется процесс алитирования (насыщение поверхности металла алюминием)?

15. Какими методами можно создать на поверхности металла защитные слои?

16. Катодными или анодными являются для железа покрытия из Zn, Ni, Sn, Cr?

17. В чем сущность электрохимических методов защиты металлов от коррозии?

18. В чем заключается ингибиторный метод защиты металлов от коррозии? Какие вещества могут использоваться в качестве ингибиторов?

19. Почему легирование стали хромом, вольфрамом, титаном придает ей большую коррозионную устойчивость?

20. Какие из приведенных сплавов меди являются наиболее коррозионно устойчивыми? латунь: (20% - 80% Cu, остальное Zn); бронза: (90%Cu + 10%Sn); мельхиор: (80% Cu + 20% Ni).

21. Почему для соединения различных деталей необходимо использовать крепеж из того же металла, что и детали?

22. Почему линии трубопроводов, изготовленные частично из медных и частично из стальных труб, ржавеют значительно быстрее, чем трубопроводы, изготовленные из однородных материалов?

23. В каких средах (pH=0, pH=7, pH=14) цинк более коррозионно устойчив? Запишите уравнения коррозионных процессов. Постройте графическую зависимость скорости коррозии цинка от pH среды?

24. Будет ли железо коррозионно устойчиво в водных растворах NaCl,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , NiCl<sub>2</sub>? Запишите схемы коррозионных процессов.

25. Какой из металлов, Be или Mg, будет более коррозионно стоек при pH>7?

26. Корродирует ли медь в водных растворах HCl,  $\text{NH}_4\text{OH}$  в присутствии кислорода? Запишите реакции. С какой деполаризацией возможна коррозия меди?

27. Как протекает коррозия меди в атмосферных условиях? Чем вызвано образование зеленого налета на медных изделиях после длительного пребывания на воздухе? Чем можно объяснить образование черного налета на меди после ее нагревания?

28. Почему в обескислороженной воде железо практически не корродирует, а в атмосферных условиях скорость коррозии железа значительна? Запишите возможные схемы коррозионных процессов.

29. Как влияют на скорость коррозии цинка примеси  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ?

30. Какие процессы протекают при коррозии оцинкованного железа с нарушенным покрытием в водном растворе  $\text{NaCl}$  и в атмосферных условиях? Составьте схемы коррозионных гальванических элементов. Какую роль играет присутствие в воде хлорида натрия?

31. Оцинкованная и омедненная железные пластины с нарушенными покрытиями находятся во влажном воздухе. На какой из пластин появится ржавчина? Составьте схемы коррозионных гальванических элементов и запишите уравнения протекающих реакций.

32. Алюминиевая пластина в контакте с железной находятся в морской воде. С какой деполаризацией протекает коррозия? Запишите уравнения реакций.

33. Как протекает коррозия луженой меди с нарушенным покрытием в кислой среде и в атмосферных условиях? Какой металл подвергается коррозии? Составьте схемы коррозионных гальванических элементов и запишите реакции.

34. Объясните, почему цинковое защитное покрытие на стали может быть пористым, а никелевое должно быть сплошным? Составьте схемы коррозионных процессов для атмосферных условий.

35. Как протекает коррозия хромированного стального изделия с нарушенным покрытием в кислой и в нейтральной средах? Запишите коррозионные процессы.

36. Какой из металлов подвергается коррозии, если никелированная стальная деталь с нарушенным покрытием находится в кислой среде? Составьте схему коррозионного гальванического элемента и запишите реакции.

37. Никель в контакте с медью находится в кислой среде. Какой металл подвергается коррозии? Какая реакция протекает на защищенном металле?

38. В каком из растворов: сульфата или хлорида меди, цинк более энергично вытесняет медь? Учитывая, что в результате гидролиза солей среда является слабокислой, составьте схемы коррозионных процессов.

39. Объясните, почему в местах контакта стали с алюминием возникает язвенная коррозия алюминия. Запишите коррозионные процессы для атмосферных условий.

40. Железо, покрытое свинцом находится во влажном грунте. Как будет протекать коррозия при нарушении целостности покрытия? Катодом или анодом будет железо в образовавшейся гальванопаре?

41. Медь не вытесняет водород из растворов кислот. Однако если к медной пластине, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой палочкой, то на меди начинается бурное выделение водорода. Почему?

42. Выделение водорода на пластине из чистого железа, опущенной в раствор соляной кислоты, протекает достаточно медленно. Скорость выделения водорода значительно возрастает, если железо будет находиться в контакте с цинком. Что изменилось? Какой из металлов будет корродировать?

43. Учитывая величину перенапряжения реакции восстановления водорода, объясните, почему амальгамирование цинка резко снижает его коррозию, а контакт с медью - увеличивает? Запишите коррозионные процессы.

44. Почему контакт с никелем усиливает коррозию цинка в кислой среде? На каком металле идет выделение водорода? В контакте с каким металлом, никелем или платиной, цинк корродирует быстрее?

45. Как влияет контакт с никелем, свинцом и медью (раздельно) на скорость коррозии олова в кислых средах? Запишите схемы коррозионных процессов.

46. Никель очень медленно выделяет водород из кислот. Почему скорость выделения водорода на никеле резко возрастает, если он находится в контакте с цинком? Какой металл при этом окисляется? Почему выделение водорода идет преимущественно на никеле?

47. В контакте с каким из металлов, Pb или Fe, цинк более коррозионно нестойк в морской воде? Ответ дайте на основании данных:  $\eta_{O_2}^{Zn} > \eta_{O_2}^{Pb} > \eta_{O_2}^{Fe}$ .

48. Почему при селективной коррозии скорость разрушения металла со временем увеличивается?

49. Магниевая и железная пластины, находящиеся в водном растворе NaCl, подсоединены к источнику постоянного тока: Mg к (-), а Fe к (+). Какая из пластин защищена от коррозии? Составьте схему коррозионных процессов.

50. Стальная конструкция находится в морской воде. Какие процессы протекают при ее коррозии? Как изменится коррозионный процесс, если к конструкции присоединить цинковый протектор?

51. Для защиты стальной конструкции от коррозии использовали катодный метод. В чем он заключается? Какие процессы при этом протекают?

52. Катодный метод защиты паровых котлов от коррозии заключается в том, что одним из электродов является сам котел, а другой электрод помещается внутри котла. Подаваемый через такую систему слабый ток подавляет коррозию. Какой из электродов и почему является катодом?

53. Железная конструкция, находящаяся в морской воде, теряет 10 кг металла в год. Какой силы ток надо подать на конструкцию при катодной защите, чтобы полностью подавить коррозию?

54. Кадмий в контакте с серебром находится в кислой среде. Какую силу тока дает образующаяся гальванопара, если за 2 часа ее работы выделилось 0,2 л водорода? Сколько граммов металла при этом окислилось?

55. Железная пластина на воздухе при высокой температуре окисляется с образованием на ее поверхности оксида  $Fe_2O_3$ . За 3 часа масса пластины площадью  $1 \text{ м}^2$  увеличилась на 10 г. Рассчитать среднюю скорость коррозии.

56. Стальной баллон заполнен кислородом с примесью паров воды. Через некоторое время количество кислорода в нем уменьшилось на 0,1 л. Рассчитать, сколько граммов металла при этом прореагировало? Записать схему коррозионного процесса.

57. При коррозии омедненного алюминия за 45 с выделилось 0,09 л водорода (н.у.). Сколько граммов алюминия при этом окислилось?

58. При стоянке судна у причала для защиты его корпуса от коррозии применяют катодную защиту. Площадь подводной части судна  $1000 \text{ м}^2$ . Скорость коррозии без применения катодной защиты  $10^{-2} \text{ г/м}^2$  в сутки. Какой силы ток надо подать на корпус судна, чтобы полностью подавить коррозию?

59. Срок службы стальных дренажных труб общей площадью  $10^5 \text{ м}^2$ , корродирующих в болотном грунте со скоростью  $10 \text{ г/м}^2$  в год, составляет 20 лет. Сколько цинка (по массе) необходимо взять для протекторной защиты труб, чтобы срок их службы увеличить в два раза?

60. Найти наименьший вес цинкового протектора для стального трубопровода, если предельно допустимое количество корродирующего металла составляет  $6 \text{ кг/год}$ , а срок службы трубопровода должен быть не менее 10 лет.

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.

#### **ОПЫТ 1. Влияние реакции среды (рН) на скорость коррозии металлов**

Для сравнения влияния характера среды на скорость коррозии металлов, оксиды и гидроксиды которых обладают соответственно основными и амфотерными свойствами, используйте следующие пары (по заданию преподавателя): а) Mg и Al; б) Fe и Zn; в) Mg и Sn. Возьмите три пробирки и налейте в них по 3 мл: 1) 20% раствора NaOH; 2) разбавленного 1:1 раствора HCl; 3) чистой воды + 1 каплю фенолфталеина. В каждую из пробирок опустите по кусочку первого металла и наблюдайте как протекает коррозия (есть или нет газовыделение, обратите внимание на изменение цвета воды). Повторите этот же опыт со вторым металлом. Постройте график зависимости скорости (относительной) коррозии от рН раствора.

#### **ОПЫТ 2. Анодные ускорители коррозии**

а) **Влияние хлорид-ионов на скорость коррозии металлов.** В две пробирки налейте по 3 мл 10% раствора сульфата меди  $\text{CuSO}_4$ . В первую пробирку добавьте несколько капель насыщенного раствора NaCl (или кристалликов NaCl). Затем в каждую пробирку положите по кусочку Al или Zn. Определите, в каком случае вытеснение меди из ее раствора происходит более интенсивно. Объясните роль ионов хлора.

б) **Влияние процесса комплексообразования на скорость коррозии.** В пробирку налейте 6 мл 25% раствора аммиака и положите кусочек меди. Интенсивно перемешайте. Наблюдайте интенсивное окрашивание раствора в синий цвет. Это объясняется переходом меди в раствор в виде комплексных ионов  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ . Запишите уравнения протекающих процессов. С какой денатурацией идет коррозия меди в этом случае? Почему процесс комплексообразования увеличивает скорость коррозии?

Аналогичный опыт можно проделать с никелем, предварительно зачистив его поверхность. В растворе аммиака никель окисляется с образованием комплексного иона  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , что также приводит к синему окрашиванию раствора.

**ОПЫТ 3. Влияние перенапряжения реакции восстановления водорода на скорость коррозии.** Возьмите две гранулы Zn или Al (по заданию преподавателя). Одну из них поместите на 2-3 минуты в стаканчик с 1М раствором сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ). Выньте гранулу и осторожно промойте дистиллированной водой. В две пробирки налейте 1М раствор соляной кислоты (по 2-3 мл) и опустите в них цинковые гранулы. Наблюдайте выделение водорода. В какой пробирке выделение водорода протекает более интенсивно? Объясните наблюдаемое. Составьте схемы коррозионных гальванических элементов при коррозии чистого и омедненного цинка (алюминия).

**ОПЫТ 4. Анодные и катодные покрытия на металлах.** В две пробирки налейте по 5 мл 1М раствора соляной кислоты, добавьте по 2 капли раствора красной кровяной соли ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), которая является реактивом на ионы  $\text{Fe}^{2+}$ . В первую пробирку опустите полоску оцинкованного железа, а во вторую - луженого железа. Предварительно поверхность пластинок зачистите наждачной бумагой. Появление синего окрашивания раствора свидетельствует о появлении ионов железа и, значит, о процессе его коррозии. В каком случае железо корродирует? К каким покрытиям относятся для железа цинковое и оловянное покрытия? Составьте схемы коррозионных гальванических элементов и запишите уравнения протекающих процессов.

**ОПЫТ 5. Электрохимические методы защиты металлов от коррозии**

а) Протекторная защита. В стакан с 20% раствором NaCl добавьте 2 капли фенолфталеина, который в щелочной среде дает малиновое окрашивание, и опустите соединенные проводником пластины из Fe и Zn. Около какой пластины появляется малиновое окрашивание? Составьте схему коррозионного процесса и запишите протекающие реакции. Какая из пластин защищена от коррозии?

б) Катодная защита. В стакан с 20% раствором NaCl добавьте 2 капли красной кровяной соли (реактив на ионы  $\text{Fe}^{2+}$ ) и опустите две железные пластины. Отметьте появление синего окрашивания, указывающего на протекание коррозионного процесса. Подсоедините пластины к разным полюсам источника постоянного тока. Около какой пластины появляется синее окрашивание? Какая из пластин защищена от коррозии? Запишите уравнения коррозионных процессов.

**ВАРИАНТЫ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

№ вар.	№ задач	№ вар.	№ задач	№ вар.	№ задач
1	1, 16, 31, 46	6	6, 21, 36, 51	11	11, 26, 41, 56
2	2, 17, 32, 47	7	7, 22, 37, 52	12	12, 27, 42, 57
3	3, 18, 39, 48	8	8, 23, 38, 53	13	13, 28, 43, 58
4	4, 19, 34, 49	9	9, 24, 39, 54	14	14, 29, 44, 59
5	5, 20, 35, 50	10	10, 25, 40, 55	15	15, 30, 45, 60