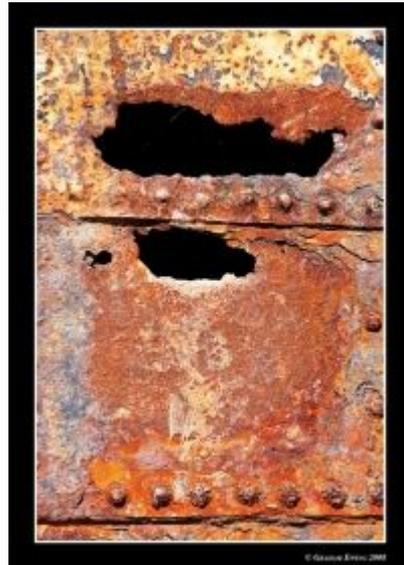


# Коррозия металлов. Методы защиты металлов от коррозии



**Коррозия** – самопроизвольно протекающий процесс разрушения  $Me$  при химическом и электрохимическом взаимодействии с окружающей средой.

*Большинство Me находятся в природе в окисленном состоянии (в оксидах и солях, образующих различные минералы и руды).*

**Окисленное состояние Me является термодинамически устойчивым**, поэтому Me-кие изделия в процессе их эксплуатации подвергаются коррозии, в результате образуются более устойчивые соединения. Коррозионные процессы протекают самопроизвольно и сопровождаются уменьшением  $\Delta G$ :



След-но, **причина коррозии** – т/д неустойчивость металлов и возможность их самопроизвольного перехода в более устойчивое (окисленное) состояние.

***Коррозия приводит к ухудшению функциональных св-в Me (сплава) или включающей его технической системы, уменьшает долговечность и надежность изделий и конструкций.***

## **Авария на Саяно-Шушенской ГЭС (17.08.2009)**

Саяно-Шушенская ГЭС – крупнейшая электростанция России (на р. Енисей), высота плотины 242 м (одна из высочайших плотин мира).

Все гидроагрегаты ГЭС (10 штук) были затоплены, 75 человек погибло.



**Причина аварии:** разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата, вызванное дополнительными динамическими нагрузками переменного характера, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции.

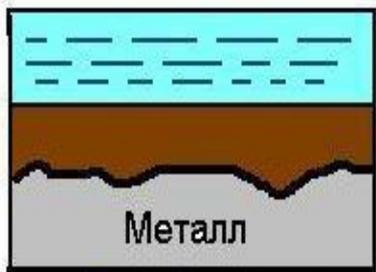
При выборе конструкционных материалов наряду с необходимыми характеристиками этого материала всегда должна оцениваться его коррозионная устойчивость для данных конкретных условий эксплуатации.

**Пример:**

В плёночных и п/п микросхемах широко исп-ся различные Me и сплавы. Для проводников и контактов исп-ся Me с высокой электрической проводимостью, например, **Al** для внутрисхемных соединений.

При контакте резисторов из этих **Me** и **Al** образуются коррозионные гальванопары **Cr-Al**, **Ni-Al** и др., которые чувствительны к загрязнениям: остаточная влага; следы  $O_2$ ; в-ва, выделяющиеся из стенок корпуса и защитного покрытия при операциях герметизации и защиты микросхем.

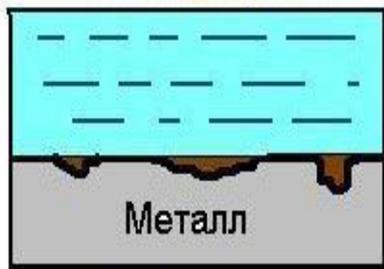
В результате Э/Х коррозии **Al** в месте контакта окисляется, образуется изолирующий слой  $Al_2O_3$  (диэлектрик), что приводит к разрыву электрической цепи.



Равномерная

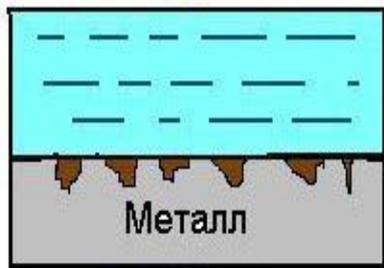
По **характеру разрушения** различают:

✓ **сплошная** (равномерная) коррозия, охватывает всю поверхность Me.

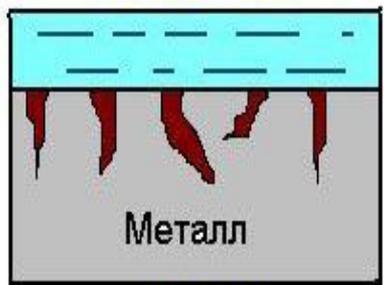


пятнами

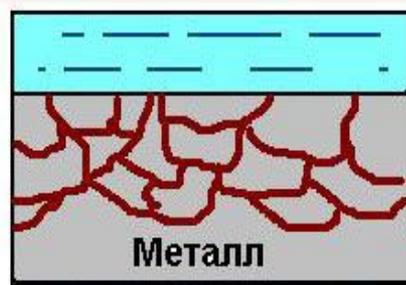
✓ **местная** – локализуется на отдельных участках. Очаги разрушения могут иметь вид: пятен, точек, могут захватывать зерна одного из компонентов сплава (избирательная), проходить через все зерна в виде узких трещин (питтинг) или сосредотачиваться по границам зерен металла (межкристаллитная).



точечная



ПИТТИНГ



межкристаллитная

Межкристаллитная кор-зия особенно опасна тем, что при отсутствии видимых внешних изменений она значительно ухудшает механические св-ва Me (материал становится хрупким).

По **механизму протекания** коррозионных процессов различают:

- ✓ **химическая;**
- ✓ **электрохимическая** коррозия.

**Химическая коррозия** – окисление Me в средах, которые не проводят электрический ток.

**Газовая** – протекает под действием агрессивных газов (O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub> и др.) при высоких температурах без конденсации влаги на поверхности Me. Например:



**Жидкостная** – протекает в растворах **неэлектролитов**. Самая распространённая в технике – коррозия деталей в органическом топливе.

**Э/Х коррозия** – процесс **самопроизвольного** разрушения Me в среде электролита в результате образования на поверхности Me короткозамкнутого ГЭ (**гальванопары**).

*Короткозамкнутый ГЭ – т.е. отсутствие внешней цепи.*



В отличие от хим. коррозии, Э/Х-я проходит в токопроводящих средах, т.е. связана с **возникновением электрического тока.**

## Причины Э/Х коррозии

1. Контакт 2-х разных по природе металлов в присутствии проводящей жидкости:



Приводит к образованию **макро**гальванопары коррозии.

**Анод** – Me с меньшим  $\varphi$ , **катод** – Me с большим  $\varphi$ .

Чем больше  $\Delta\varphi$  контактирующих металлов, тем с большей скоростью будет протекать коррозия.

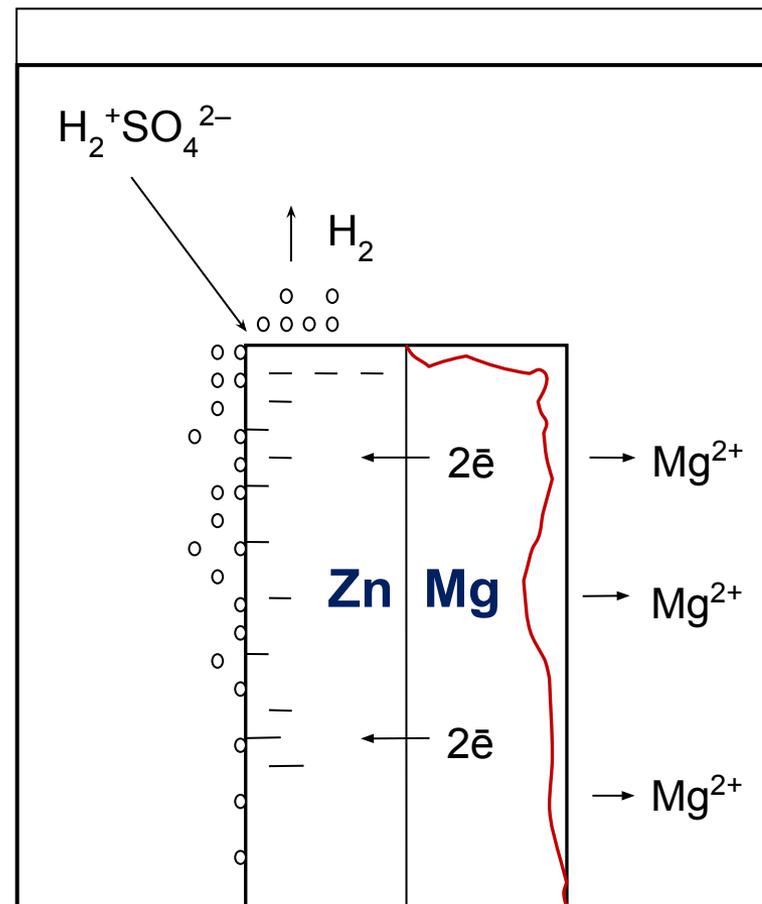
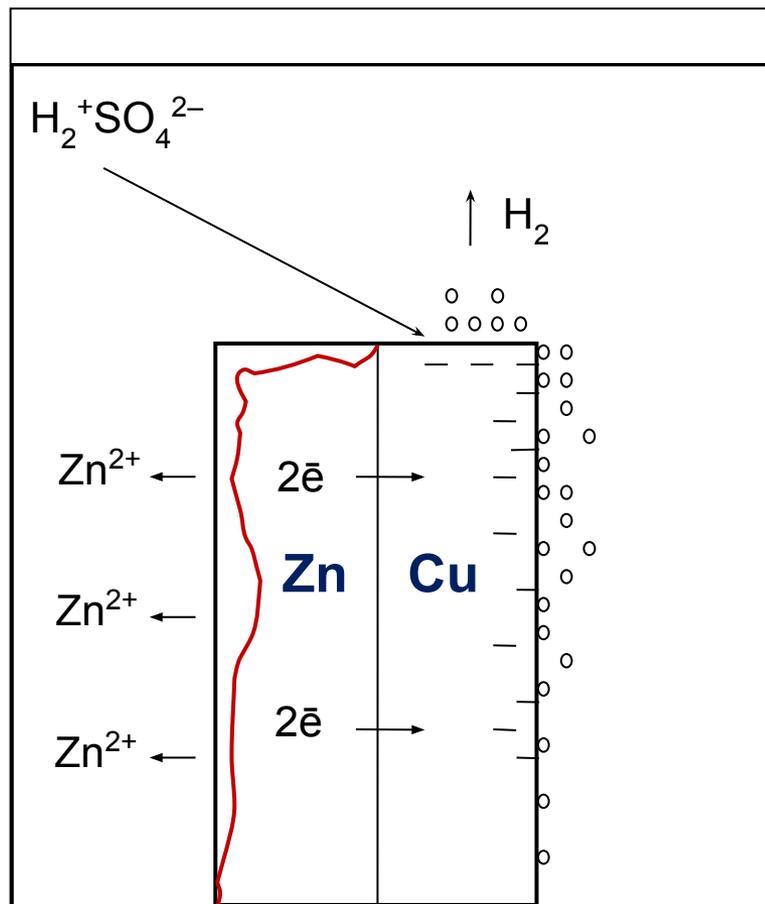
**Примечание:** В случае коррозии, возникающей при контакте Me со **сплавом**, последний имеет  $\varphi$ , соответствующий наиболее **активному металлу**, входящему в состав сплава.

**Например,** при контакте **латуни** (сплав меди и цинка) с железом корродировать будет **латунь** за счет наличия в ней **цинка** (более активный).

# Схема контактной коррозии металлов

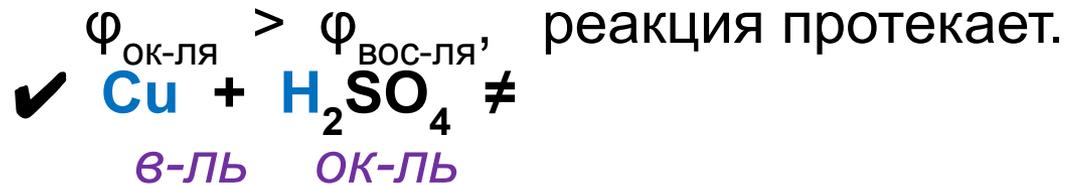
## Zn - Cu

## Zn - Mg



$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ B}, \quad \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ B}$$

$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ B}, \quad \varphi_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}}^0 = -2,38 \text{ B}$$



$\varphi_{\text{ВОС-ля}} > \varphi_{\text{ОК-ля}}$ , реакция не протекает

*В результате контакта Zn и Cu в проводящей среде образуется макрогальванопара:*



**E =  $\varphi_{\text{K}} - \varphi_{\text{A}} > 0$**

## 2. Контакт с примесью другого металла в структуре конструкционного материала:

**A(-) Me(1) | электролит | примесь Me(2) (+)K**

Почти все используемые в реальной практике конструкционные материалы представляют собой **технические материалы**, т.е. содержат **примеси**.

Наличие примесей различных металлов в присутствии проводящей жидкости приводит к образованию локальных **микрoгальванопар**.

**Анод** – Me, **катод** – примесные центры.

**3. Контакт в одном изделии участка самого Me и соединения этого Me в среде электролита.**

Контакт Me с включениями собственных оксидов, нитридов или карбидов приводит к образованию локальных **микр**огальванопар.

*Например,* сталь наряду с кристаллами железа содержит кристаллы цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ , которые по отношению к железу выступают в роли катода в микроргалванопаре:



## 4. Неодинаковая механическая обработка различных участков одного и того же Ме (детали).

Обработанная часть детали по сравнению с необработанной обладает повышенным запасом энергии и бо́льшей химич. активностью, поэтому служит анодом **микр**огальванопары:

**A(-)** механически обрабо- | электролит | недеформиро- **(+)K**  
танный участок ваный участок

*Например,* ржавление кровельного железа в местах стыка, где листы подвергались ударам и изгибу; коррозия металлических деталей в местах сверлений.

## 5. Различные концентрации электролита.

Создается пара даже на одном металле, т.к. концентрация ионов в электролите влияет на величину  $\varphi$ : с уменьшением концентрации потенциал становится более электроотрицательным.

Результатом будет коррозия **Me** в более разбавленном растворе (**анод**).

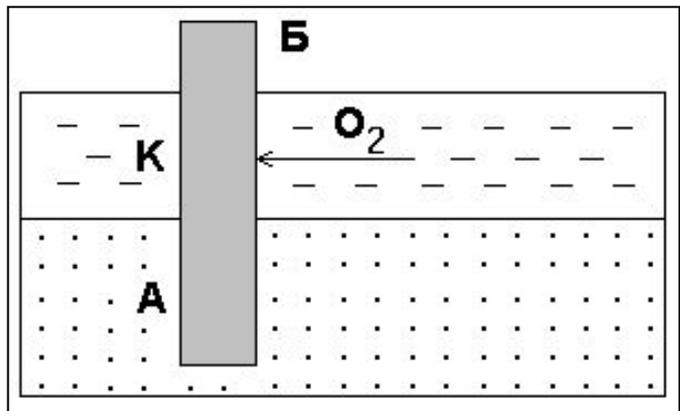
## 6. Неравномерное насыщение кислородом различных участков металла.

Наиболее окисленный участок  $Me$  (бóльший доступ  $O_2$ ) является Э/Х более пассивным ( $\varphi$  такого участка больше) и выполняет роль катода по отношению к  $Me$  или плохо окисленному участку  $Me$  (меньший доступ  $O_2$ ):

**A(-)  $Me$  | электролит | хорошо окисленный участок  $Me$  (+)К**

*Например,* ржавление кровельного железа, сложенного в пачки, внутри пачек.

### Коррозия стальной сваи, закопанной в речное дно:



Часть конструкции в воде омывается растворенным в ней  $O_2$  и будет выполнять роль катода. Часть конструкции, находящаяся в почве – анод и будет подвергаться разрушению:

**Б – техническое сооружение,  
А – анод, К – катод.**

Во всех случаях на поверхности Me-ких конструкций самопроизвольно возникают макро- и микро- ГЭ, в которых протекает **анодное окисление Me** и **катодное восстановление окислителя** окружающей **среды**.

### **Отличие Э/Х коррозии от процессов в ГЭ**

**1. Отсутствие внешней цепи:** в результате окисления анода электроны не покидают металл, а перемещаются внутри него к катодным участкам.

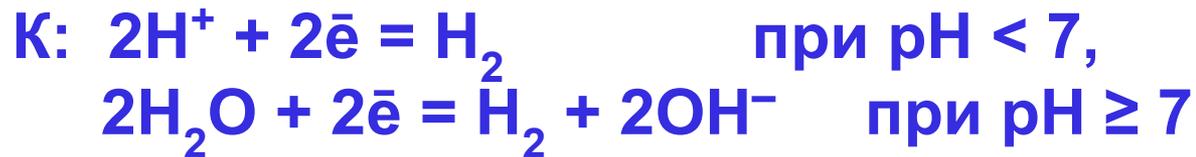
**2. Характер катодного процесса:** на катоде коррозионной пары восстанавливается окислитель среды.

В процессе коррозии электроды гальванопары поляризуются вследствие перехода  $\bar{e}$ -нов с анода на катод. Явление **поляризации** проявляется в уменьшении  $\phi$  катода и увеличении  $\phi$  анода, т.е. в сближении их значений. Это приводит к понижению ЭДС и замедлению коррозии. Поэтому в данном случае в отличие от ГЭ поляризация имеет положительное значение.

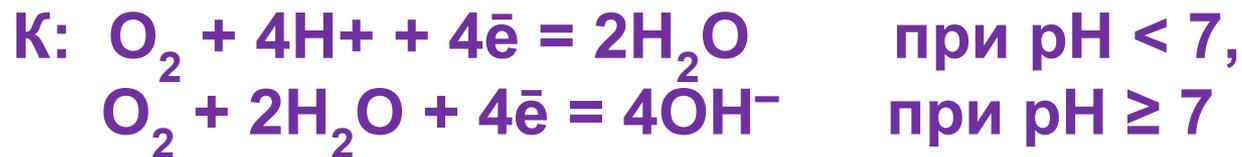
Процесс катодного восстановления, повышающий потенциал катода, является **деполяризацией**.

По характеру катодного процесса различают коррозию с водородной и кислородной деполяризацией.

Если окислителем (деполяризатором) являются **катионы водорода  $H^+$** , коррозия протекает с **водородной деполяризацией**:



Если окислителем (деполяризатором) является **кислород  $O_2$** , коррозия протекает с **кислородной деполяризацией**:



## Условия самопроизвольного протекания Э/Х коррозии:

**электрохимическое** —  $E > 0$  ( $\varphi_{\text{к}} > \varphi_{\text{а}}$ ),  
**термодинамическое** —  $\Delta G < 0$ .

Чем больше ЭДС, тем с большей скоростью протекает коррозия.

## Скорость Э/Х коррозии зависит:

- ✓ природы металла ( $\varphi^0$ );
- ✓ характера коррозионной среды (pH);
- ✓ наличия активаторов коррозии ( $O_2$ ,  $Cl^-$ );
- ✓ наличия ингибиторов коррозии (оксидные пленки);
- ✓ природы катодных участков;
- ✓ температуры;
- ✓ природы вторичных продуктов коррозии.

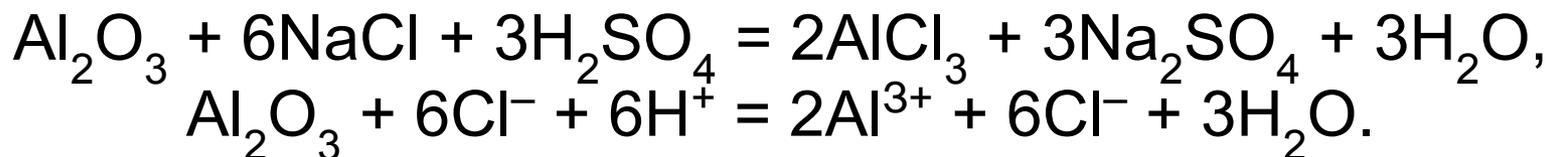
Скорость коррозии с **водородной** деполяризацией уменьшается понижением температуры; увеличением pH; очисткой металлов от примесей, катализирующих выделение  $H_2$ .

Скорость коррозии с **кислородной** деполяризацией снижается введением в электролит восстановителя; снижением давления  $O_2$ .

Химическая устойчивость Me-ких конструкций к коррозии в значительной степени зависит от склонности Me к **пассивации** (образование на поверхности Me оксидных или других защитных слоев). Напр-р, на поверхности **Al** образуется хорошо сцепленная с Me оксидная пленка **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**. Подобные защитные пленки имеются у Cr, Zn.

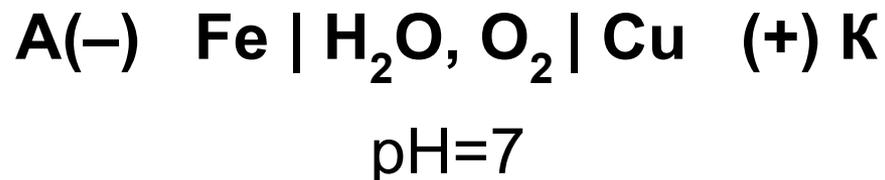
**Ионы Cl<sup>-</sup>** (морская вода, соленые почвы и др.) могут активировать Me, препятствуя их пассивации. Ионы Cl<sup>-</sup> обладают высокой адсорбционной способностью на поверхности Me, **разрушают пассивирующие оксидные пленки** и облегчают переход ионов Me в раствор (хлориды Me хорошо растворимы).

**Пример:**



**Пример:** Рассмотрим возможность коррозии стальной детали с медными заклепками в условиях **влажной атмосферы** ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{pH}=7$ ).

При контакте Fe с Cu возникает короткозамкнутый ГЭ:



$$\text{A: Fe} - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}, \quad \varphi_a = \varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В}$$

$$\text{K: O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} = 4\text{OH}^-, \quad \varphi_k = 1,23 - 0,059 \cdot \text{pH} = 0,82 \text{ В}$$

$$E = \varphi_k - \varphi_a = 0,82 + 0,44 = 1,26 \text{ В}$$

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E = -4 \cdot 96500 \cdot 1,26 = -486,36 \text{ кДж}$$

Т.к.  $E > 0$  и  $\Delta G < 0$ , коррозия возможна.

**Пример:** Рассмотрим возможность коррозии стальной детали в условиях **влажной атмосферы** ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{pH}=7$ ).

**A(-) Fe |  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  | примесные центры (+) K**  
**pH=7**

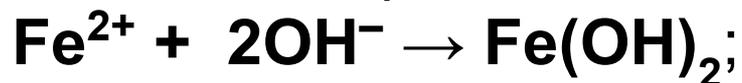


$E = \varphi_k - \varphi_a = 0,82 + 0,44 = 1,26 \text{ В}$

$\Delta G = -n \cdot F \cdot E = -4 \cdot 96500 \cdot 1,26 = -486,36 \text{ кДж}$

Т.к.  $E > 0$  и  $\Delta G < 0$ , коррозия возможна.

Скорость коррозии снижается из-за образования труднорастворимых в нейтральных и щелочных средах основных гидроксидов железа и образования ржавчины:



**Пример:** Рассмотрим возможность коррозии стальной детали в условиях **кислой среды без доступа кислорода** ( $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{pH}=2$ ).

**A(-) Fe |  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  | примесные центры (+) K**  
 $\text{pH}=2$

$$\text{A: Fe} - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}, \quad \varphi_a = \varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В}$$

$$\text{K: } 2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2, \quad \varphi_k = -0,059 \cdot \text{pH} = -0,118 \text{ В}$$

$$E = \varphi_k - \varphi_a = -0,118 + 0,44 = 0,322 \text{ В}$$

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E = -2 \cdot 96500 \cdot 1,26 = -62,15 \text{ кДж}$$

Т.к.  $E > 0$  и  $\Delta G < 0$ , коррозия возможна.

Из сравнения ЭДС следует, что коррозия стальной детали более вероятна в условиях влажной атмосферы.

**Пример:** Железо и свинец находятся в растворе NaCl, контактирующим с воздухом (pH=7). Оценить возможность коррозии железа в данных условиях.

При контакте Fe с Pb возникает короткозамкнутый ГЭ:



$$\text{pH}=7$$

$$\text{A: Fe} - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}, \quad \varphi_a = \varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В}$$

$$\text{K: O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} = 4\text{OH}^-, \quad \varphi_k = 1,23 - 0,059 \cdot \text{pH} = 0,82 \text{ В}$$

$$E = \varphi_k - \varphi_a = 0,82 + 0,44 = 1,26 \text{ В}$$

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E = -4 \cdot 96500 \cdot 1,26 = -486,36 \text{ кДж}$$

Т.к.  $E > 0$  и  $\Delta G < 0$ , коррозия железа возможна.

# Защита металлов от коррозии

Выбор способа защиты от коррозии определяется природой корродирующего Ме, видом оборудования и условиями его эксплуатации, природой коррозионной среды и т. д.

*Методы защиты Ме-в от коррозии делятся на группы.*

## 1. Изменение природы Ме:

- ✓ легирование другими Ме-ми, повышающими коррозионную стойкость;
- ✓ создание специальных антикоррозионных сплавов.

При получении конструкционных материалов вводят в основу такие легирующие компоненты, которые, обладая высокой диффузионной способностью в данном Ме или сплаве, выходят на поверхность и образуют устойчивые оксиды сложного состава (Ni, Cr, Co).

## 2. Изменение состава коррозионной среды.

### ✓ Удаление активаторов коррозии ( $O_2$ , $Cl^-$ , $H^+$ ).

При герметизации в приборостроительной практике  $O_2$  заменяют на **Ar** или **He** высокой чистоты. При невозможности герметизации приборного устройства ставят поглотители, сорбирующие влагу и  $O_2$  из воздуха.

### ✓ Введение ингибиторов коррозии – веществ, способных в малых количествах замедлять или останавливать коррозию.

### ✓ Регулирование pH среды.

### ✓ Мероприятия по охране окружающей среды, требующие очистки промышленных газов, пагубно влияющих на окружающую среду и провоцирующие разрушение Me-ких конструкций в результате атмосферной коррозии.

### 3. Создание защитных покрытий на поверхности Me.

- ✓ **Окраска, покрытие специальными лаками и эмалями.**
- ✓ **Химические покрытия** – искусственно создаваемые поверхностные пленки различного состава.
  - **Оксидирование** (химическое и Э/Х) – создание на поверхности металла **оксидных пленок**, через которую диффузия  $O_2$  была бы ничтожно малой. Э/Х оксидирование Al – анодирование. Оксидирование в промышленных масштабах осуществляется помимо противокоррозионной защиты для придания **электроизоляционных свойств** поверхностному слою.
  - Покрытие **пассивирующими плёнками** из **труднорастворимых соединений Me** (фосфаты, сульфаты).

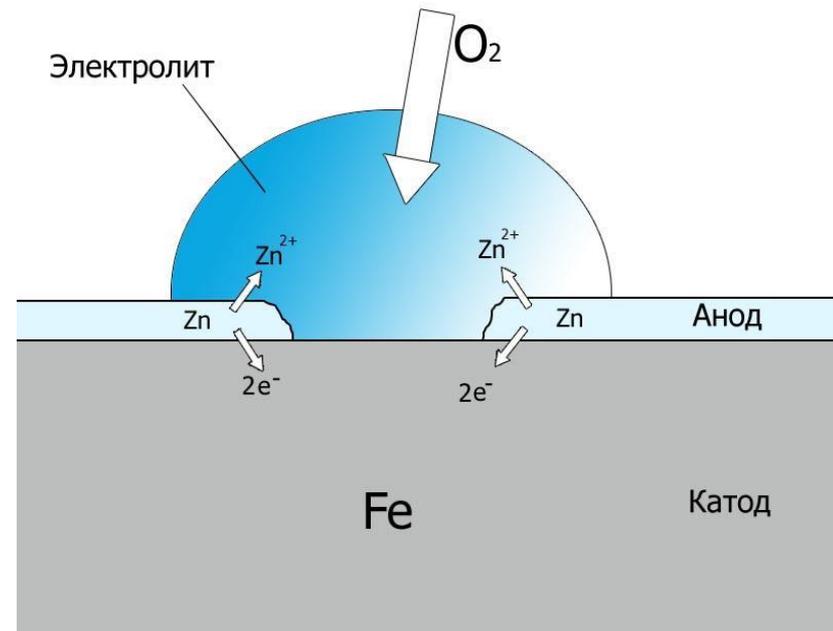
## ✓ Нанесение металлических покрытий:

- **анодное** покрытие;
- **катодное** покрытие.

**Анодное** покрытие – Me покрытия имеет **меньший** электродный потенциал, чем защищаемый Me:

$$\varphi_{\text{покр.}} < \varphi_{\text{Me}}$$

Это **наиболее надежный вид покрытия**, т.к. при нарушении целостности покрытия возникает ГЭ, в котором будет корродировать покрытие, являясь анодом. Защищаемый Me разрушаться не будет, так как будет выполнять роль катода, и на нем будут идти восстановительные процессы.

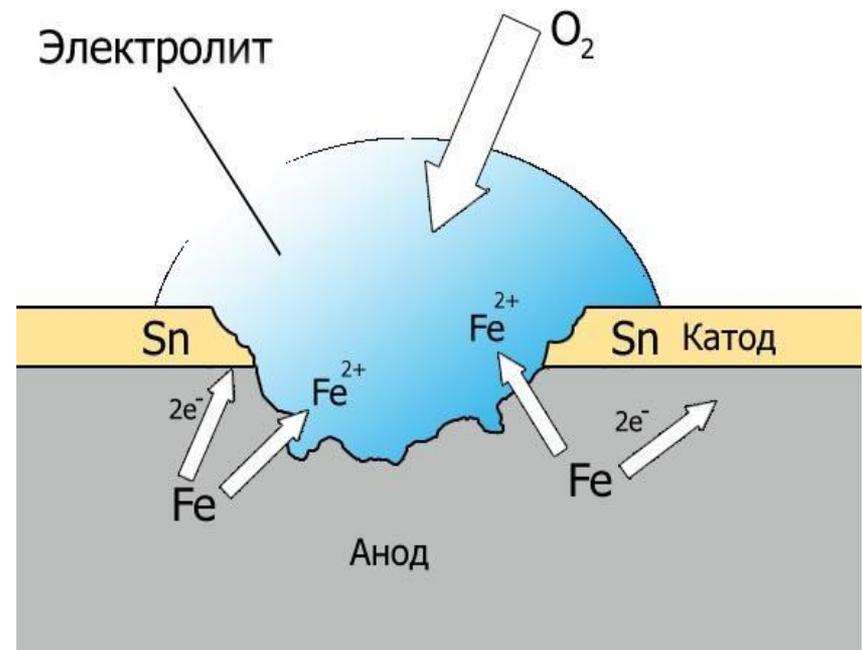


**Катодное** покрытие – Me покрытия имеет **больший** электродный потенциал, чем защищаемый Me:

$$\varphi_{\text{покр.}} > \varphi_{\text{Me}}$$

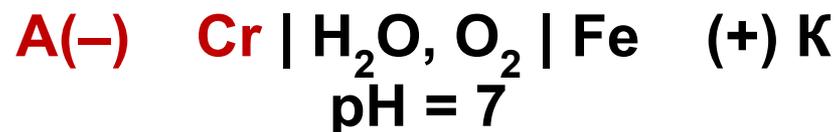
Этот вид покрытия сохраняет свою защитную функцию только в случае бездефектности покрытия.

При повреждении такого покрытия в образующемся коррозионном элементе анодом будет основной металл, что приведет к его растворению. Покрытие будет являться катодом и не подвергается коррозии.



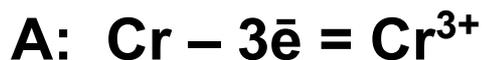
**Пример:** Железо покрыто хромом. Установите вид покрытия. Что происходит при нарушении цельности покрытия в условиях: влажного воздуха ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ); в растворе кислоты ( $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

**Влажный воздух** (кислородная деполяризация):

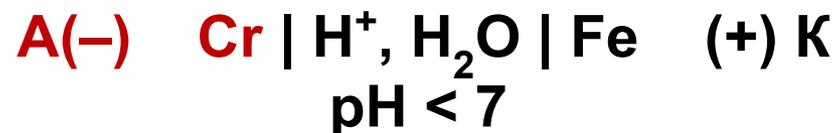


$$- 0,744 \text{ В}$$

$$- 0,44 \text{ В}$$

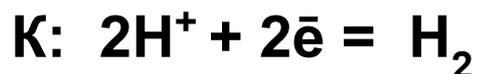


**Кислая среда** (водородная деполяризация):



$$- 0,744 \text{ В}$$

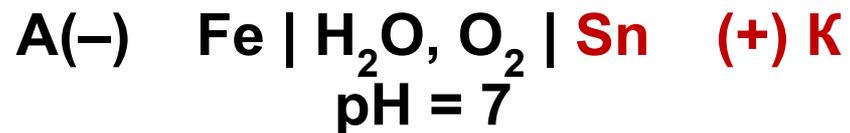
$$- 0,44 \text{ В}$$



Покрытие из хрома на поверхности железа – **анодное**.

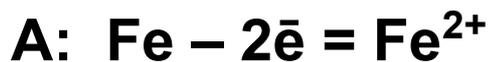
**Пример:** Железо покрыто оловом. Установите вид покрытия. Что происходит при нарушении цельности покрытия в условиях: влажного воздуха ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ); в растворе кислоты ( $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

**Влажный воздух** (кислородная деполяризация):

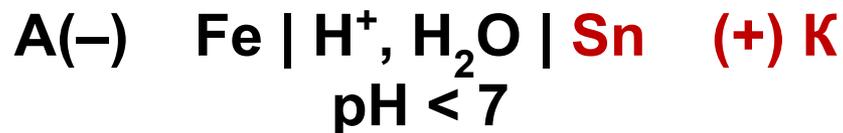


$$- 0,44 \text{ B}$$

$$- 0,136 \text{ B}$$

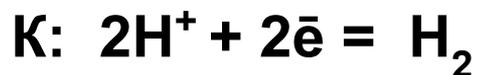


**Кислая среда** (водородная деполяризация):



$$- 0,44 \text{ B}$$

$$- 0,136 \text{ B}$$



Покрытие из олова на поверхности железа – **катодное**.

### 3. Электрохимическая защита:

✓ протекторная;

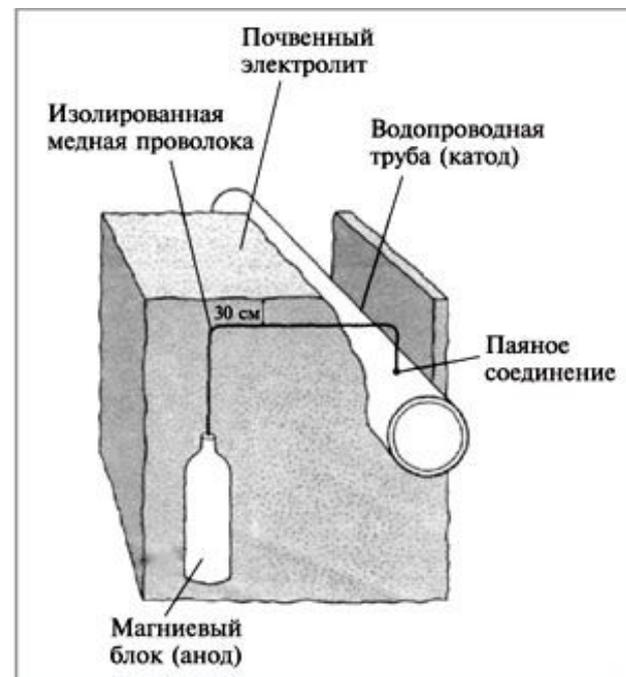
✓ катодная.

Защита от коррозии достигается тем, что **защищаемая конструкция** становится **катодом** в Э/Х-кой системе.

Э/Х-кие способы защиты наиболее эффективны против почвенной коррозии, коррозии в агрессивных химических средах, морской воде.

**Протекторная** защита – присоединение к защищаемой конструкции вспомогательного электрода – **протектора** – более активного  $\text{Me}$ , чем защищаемый. Протекторы наклепывают (припаивают) или соединяют  $\text{Me}$ -ким проводником с защищаемой конструкцией. В качестве протектора используют  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Zn}$ , их сплавы.

Образуется макрогальванопара, в которой **протектор**, служащий **анодом**, разрушается, а на **защищаемой конструкции** – **катоде** – идут процессы восстановления окислителя среды.



Эффективность протекторной защиты зависит от электрической проводимости среды, разности потенциалов между протектором и защищаемой конструкцией, способа размещения протектора.

**Достоинством** является автономность, т.к. система протекторной защиты не зависит от наличия электроснабжения и ввиду небольшой разницы потенциалов обычно не создает помех для окружающих объектов.

Принципиальными **недостатками** защиты является низкая ЭДС, что ограничивает применение протекторов в плохо проводящих средах, безвозвратные потери металла и возможное загрязнение окружающей среды.

**Катодная** защита (электрозащита) по своей сути сводится к процессу **электролиза** водного р-ра электролита (подземные почвенные воды, морская вода), в котором эксплуатируется защищаемая конструкция (подземные трубопроводы, водные резервуары, корпус судна, морские трубопроводы и т.д.).

**Защищаемую конструкцию** подсоединяют к «–» полюсу внешнего источника тока (**катод**), а **вспомогательный электрод** (любой по активности, обычно металлолом) – к «+» полюсу (**анод**).

В результате создается электролизная система, в которой **защищаемая конструкция** является **катодом**, на нем идут процессы восстановления окислителя из окружающей среды. На положительном электроде (аноде) идут процессы окисления самого анода (если электрод растворимый) или восстановителя среды (если электрод инертный).

**Недостатки метода:** катодная защита требует дополнительных мероприятий и дорогостоящих электрических установок.

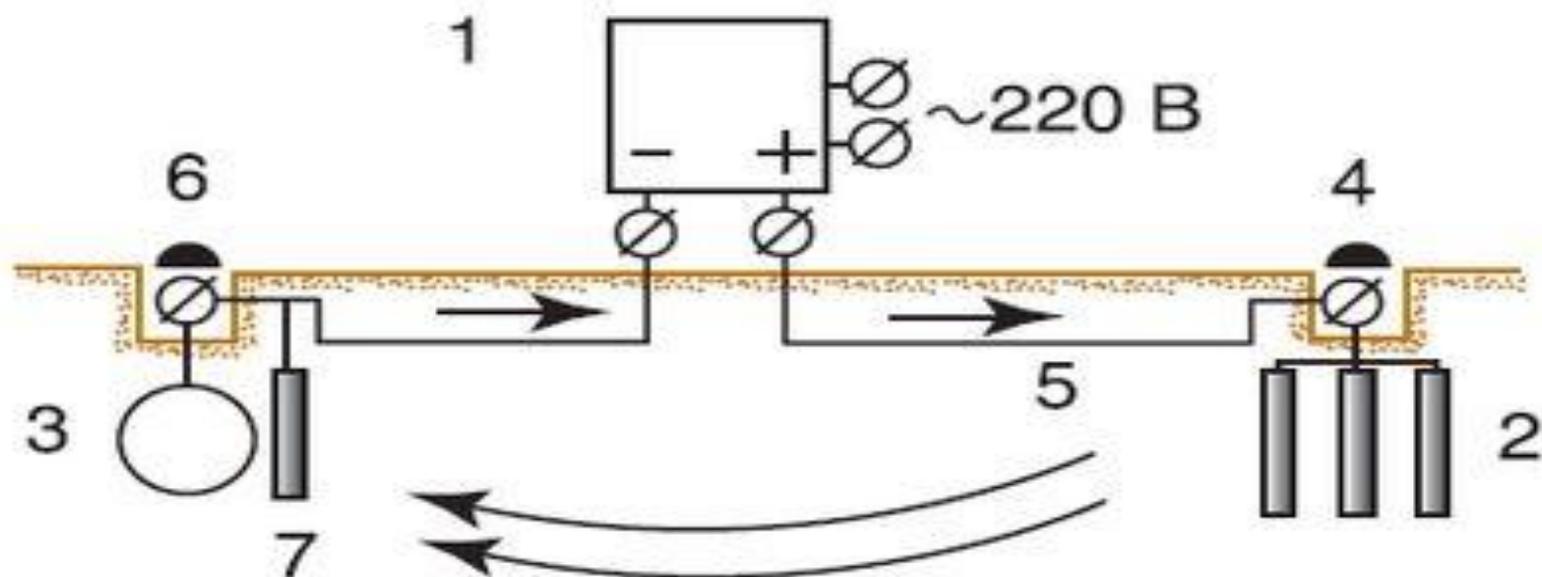


Рис. 1. Схема установки катодной защиты трубопровода:

1 – источник постоянного тока; 2 – анодный заземлитель; 3 – защищаемый трубопровод; 4 – контактное устройство на анодном заземлении; 5 – кабельная линия; 6 – контрольно-измерительный пункт; 7 – электрод сравнения

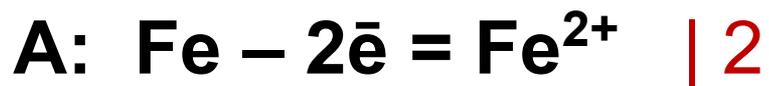
## Катодные процессы в водных растворах

Li... Al	Mn до H	после H
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ <p style="text-align: center;"><i>если pH ≥ 7</i></p> $2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$ <p style="text-align: center;"><i>если pH &lt; 7</i></p>	<p>1) <math>\text{Me}^{n+} + ne^- = \text{Me}^0</math> – <i>основная реакция,</i>  <math>2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-</math> (pH ≥ 7) –  <i>побочная реакция</i></p> <p>2) <math>\text{Me}^{n+} + ne^- = \text{Me}^0</math> – <i>основная реакция,</i>  <math>2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2</math> (pH &lt; 7) – <i>побочная</i>  <i>реакция</i></p>	$\text{Me}^{n+} + ne^- = \text{Me}^0$

## Анодные процессы в водных растворах

Растворимый анод (Me)	Нерастворимый анод (C, Pt, Au)	
	<i>Кислотные остатки</i>	
	<i>бескислородных кислот</i>	<i>кислородсодержащих кислот, F<sup>-</sup></i>
$\text{Me}^0 - ne^- = \text{Me}^{n+}$	$2\text{Cl}^- - 2e^- = \text{Cl}_2$ $2\text{Br}^- - 2e^- = \text{Br}_2$ $2\text{I}^- - 2e^- = \text{I}_2$ $\text{S}^{2-} - 2e^- = \text{S}$	$2\text{H}_2\text{O} - 4e^- = \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ , <i>если pH ≤ 7</i>  $4\text{OH}^- - 4e^- = \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ , <i>если pH &gt; 7</i>

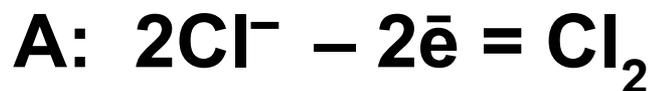
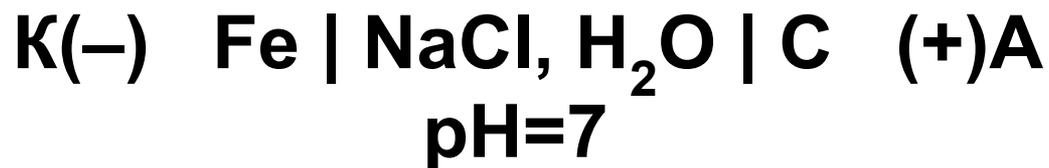
**Пример:** Составьте схему катодной защиты стальной конструкции в условиях нейтральной почвы.



**Электролиз!**

*ЛР 4,  
опыт 6*

**Пример:** Составьте схему катодной защиты стального образца в условиях эксплуатации в растворе NaCl.



**Всем срочно  
сдать хвосты!**

деканат

