



**Российский государственный  
университет нефти и газа имени И.М.  
Губкина**

**Кафедра машин и оборудования нефтяной и газовой  
промышленности**

**Коррозия нефтегазового оборудования**

Москва 2010

# Коррозия материалов

- Коррозией называется процесс разрушения материалов в результате взаимодействия с агрессивной средой.
- При этом имеется в виду их разрушение и потеря эксплуатационных свойств в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Но следует учитывать, что механизмы и кинетика процессов для неметаллов и металлов будут разными.

# Коррозия материалов

- Коррозия приводит ежегодно к миллиардным убыткам, и разрешение этой проблемы является важной задачей. Основной ущерб, причиняемый коррозией, заключается не в потере металла как такового, а в огромной стоимости изделий, разрушаемых коррозией. Вот почему ежегодные потери от неё в промышленно развитых странах столь велики. Истинные убытки от неё нельзя определить, оценив только прямые потери, к которым относятся стоимость разрушившейся конструкции, стоимость замены оборудования, затраты на мероприятия по защите от коррозии. Ещё больший ущерб составляют косвенные потери. Это простое оборудование при замене прокорродировавших деталей и узлов, утечка нефти и газа, нарушение технологических процессов.

# Коррозия материалов

- Наиболее часто говорят о коррозии металлов:  
Коррозия металлов — это разрушение поверхности металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия с агрессивной средой. Термодинамически коррозия металлов возможна в том случае, если в результате коррозионного процесса уменьшается свободная энергия системы .

# Коррозия материалов

- Менее известны случаи коррозии полимеров. Применительно к ним существует понятие «старение», аналогичное термину «коррозия» для металлов. Например, старение резины из-за взаимодействия с газами (кислородом, сероводородом) или разрушение некоторых пластиков под воздействием ультрафиолета или осадков, а также биологическая коррозия. Скорость коррозии, как и всякой химической реакции, очень сильно зависит от температуры. Повышение температуры на 100 градусов может увеличить скорость коррозии на несколько порядков.

# Коррозия материалов

- Экономические потери от коррозии металлов огромны. В США по данным NACE ущерб от коррозии и затраты на борьбу с ней составили 3,1 % от ВВП (276 млрд. долларов). В Германии этот ущерб составил 2,8 % от ВВП. По оценкам специалистов различных стран эти потери в промышленно развитых странах составляют от 2 до 4 % валового национального продукта. При этом потери металла, включающие массу вышедших из строя металлических конструкций, изделий, оборудования, составляют от 10 до 20 % годового производства стали.

# Коррозия материалов



Ржавчина,  
самый  
распространенный  
вид коррозии

# Коррозия материалов

- Коррозия шпилечного узла фланцевого соединения





# Коррозия материалов

- Коррозионные процессы отличаются широким распространением и разнообразием условий и сред, в которых они протекают. Поэтому пока нет единой и всеобъемлющей классификации встречающихся случаев коррозии.

По типу агрессивных сред, в которых протекает процесс разрушения, коррозия может быть следующих видов:

- Газовая коррозия;
- Атмосферная коррозия;
- Коррозия в неэлектролитах;
- Коррозия в электролитах;
- Подземная коррозия;
- Биокоррозия;
- Коррозия блуждающим током.

# Коррозия материалов

- По условиям протекания коррозионного процесса различаются следующие виды:
- Контактная коррозия;
- Щелевая коррозия;
- Коррозия при неполном погружении;
- Коррозия при полном погружении;
- Коррозия при переменном погружении;
- Коррозия при трении;
- Межкристаллитная коррозия
- Коррозия под напряжением

# Коррозия материалов

- По характеру разрушения:
- Сплошная коррозия, охватывающая всю поверхность;
- равномерная;
- неравномерная;
- избирательная.
- Локальная (местная) коррозия, охватывающая отдельные участки:
- пятнами;
- язвенная;
- точечная (или ПИТТИНГ);
- сквозная;
- межкристаллитная.

# Коррозия материалов

- Главная классификация производится по механизму протекания процесса.  
Различают два вида:
- химическую коррозию;
- электрохимическую коррозию

# Коррозия металлов

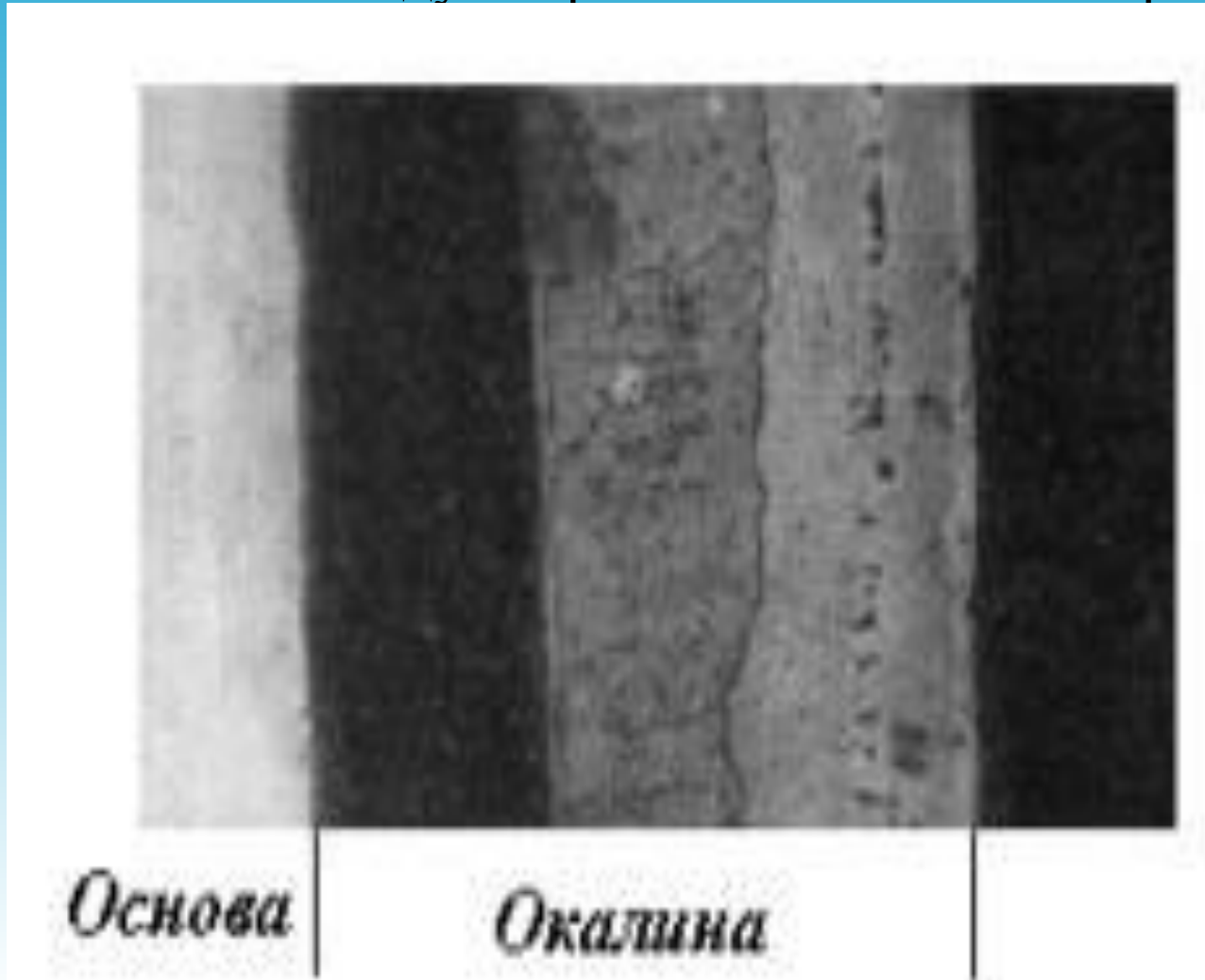
- **Химическая коррозия** — взаимодействие поверхности металла с коррозионно-активной средой, не сопровождающееся возникновением электрохимических процессов на границе фаз.  
В этом случае взаимодействия окисление металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают в одном акте. Например, образование окалина при взаимодействии материалов на основе железа при высокой температуре с кислородом:
- $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$

# Коррозия металлов

- По характеру разрушений различают общий и локальный виды химической коррозии. При этом химическая коррозия может протекать как компонентно-избирательная или структурно-избирательная, а локальная коррозия может быть межкристаллитной или носить язвенный характер (например, такой может оказываться *ванадиевая* коррозия).
- По природе коррозионной среды различают коррозию в кислородсодержащих или серусодержащих газах, водородную, ванадиевую, галогенидную коррозию, коррозию в расплавах серы и других неметаллах и т.д. Эти виды коррозии проявляются в том случае, если коррозионная среда не является электропроводной. Такие условия возникают, когда металл соприкасается с газами при высоких температурах, когда исключается конденсация влаги на поверхности металла. Поэтому при подборе материалов, пригодных для эксплуатации в условиях газовой коррозии, приходится сочетать их устойчивость к окислению (*жаростойкость*) с высокой прочностью при повышенных температурах (*жаропрочность*).

# Коррозия металлов

- Слоистое строение окалины, образующейся на железе при его окислении на воздухе при повышенной температуре



# Коррозия металлов

- При кислородной коррозии стали происходит ее обезуглероживание. Углерод в стали находится в виде цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), возникновение которого в процессе термообработки обеспечивает ее высокую прочность. Под действием кислорода цементит окисляется, и сталь теряет в поверхностных слоях свои прочностные свойства. В чугуне углерод содержится не только в виде цементита, но и в форме пластинчатого графита, который располагается по границам зерен металла, где и происходит наиболее интенсивная диффузия кислорода. Окислению подвергаются участки металла, расположенные на границе зерен. Поскольку продукты окисления имеют больший объем, чем металл, из которого они образовались, то происходит увеличение объема металла при коррозии (так называемый «*рост чугуна*»).



# Коррозия металлов

- При электрохимической коррозии ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала металла.
- При электрохимической коррозии всегда требуется наличие электролита (конденсат, пластовая вода и т. д.) как, например, при ржавлении железа во влажной атмосфере:  
$$4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

# Коррозия металлов

- Кислородсодержащие газы вызывают снижение поверхностной прочности металлов, вследствие чего они оказываются подверженными более интенсивному износу. Причиной этого явления также оказывается удаление цементита из поверхностных слоев металла. Износ топочного оборудования при высоких температурах происходит благодаря его контакту с газом, омывающим трубы при большой скорости. Вместе с газом перемещаются и твердые частицы топлива и шлака, имеющие абразивные свойства. Кроме того, в топочных газах обычно содержится окись углерода, которая при температурах 250–400°С способна реагировать с металлами, образуя летучие продукты (карбонилы), уносящиеся вместе с топочными газами. Этот вид коррозии называется *карбонильной* коррозией металла.

# Коррозия металлов

- В серосодержащих высокотемпературных газах на поверхности железа, стали, чугунов и других металлов образуется сульфидная или смешанная окалина, которая обладает свойствами, близкими к свойствам кислородной окалины. Она является препятствием для диффузии реагентов друг к другу и проявляет защитное действие. Некоторые виды окалины, например сульфидная окалина никеля, образуют с никелем легкоплавкие вещества, В этом случае возможен переход химической газовой коррозии в высокотемпературную электрохимическую.

# Коррозия металлов

- Водородная коррозия вызывает изменение механических свойств металлов (повышается хрупкость стали, происходит ее расслоение, «пузырение»). Хрупкое разрушение при водородной коррозии происходит в тех случаях, когда сталь имеет высокие прочностные показатели (высокоуглеродистая сталь). Мягкие пластичные стали могут подвергаться расслоению, пузырению. Причиной водородной коррозии является диффузия водорода в сталь и другие материалы, происходящая при высоких температурах. Это может иметь место, например, в аппаратуре для синтеза аммиака или переработки метана.

# Коррозия металлов

- Во многих аппаратах и сосудах, работающих под давлением с природными и попутными нефтяными газами, содержащими метан  $\text{СН}_4$ , этот газ собирается в отдельных пустотах, трещинах, дефектах металла, вызывая внутренние напряжения, из-за которых приходится снижать рабочие нагрузки на детали. В результате в мягких сталях возникают пузыри, и металл расслаивается, а высокопрочные стали при относительно небольших механических нагрузках подвергаются хрупкому разрушению.

# Коррозия металлов

- Медь, а также некоторые ее сплавы могут быть склонны к водородной коррозии в тех случаях, когда недостаточно глубоко проведено их раскисление в процессе металлургического производства, то есть, когда в металле сохранился кислород, например, в виде закиси меди  $Cu_2O$ . Этот оксид образует отдельную фазу в металле, а проникающий в металл водород, химически взаимодействуя с ним, восстанавливает его. При этом возникает водяной пар, который при высокой температуре может быть причиной возникновения хрупкости меди.
- Это надо принимать во внимание при использовании порошковых рабочих колес и направляющих аппаратов ЭЦН.

# Коррозия металлов

- Некоторые металлы, например титан, способны поглощать (абсорбировать) большие количества кислорода при высокой температуре. Если такой металл оказывается затем в контакте с водородом, то также может наблюдаться водородная коррозия, снижающая его прочность.
- Многие аппараты, работающие под давлением, изготовлены из стали типа 09Х13Н2Т, содержащей до 1,5% титана!

# Коррозия металлов

- Галогенидная коррозия представляет собой процесс коррозии металлов в хлористом водороде, хлоре, фторе, бrome, йоде с образованием галогенидов. Обычно при низких температурах большинство металлов слабо взаимодействует с этими веществами, но при температуре 200–300°С происходит самоускорение этих реакций и некоторые металлы буквально сгорают в этих условиях с большой скоростью.
- Это нужно помнить при разработке месторождений, в пластовой воде которых имеется значительное количество галогенов.



# Коррозия металлов

- Чтобы определить, возможно ли окисление металла, т. е. может ли начаться коррозионный процесс, часто используют метод парциального давления. При этом, например, в кислородсодержащих газах сопоставляют парциальное давление кислорода в газовой смеси (коррозионной среде) и давление распада (диссоциации) окисла металла.
- Сопоставляя табличную величину давления диссоциации оксида меди, равную 0,31, с парциальным давлением кислорода в воздухе, равным 0,21, можно сделать заключение, что в воздухе окисления меди быть не может, поскольку парциальное давление кислорода меньше табличной величины диссоциации оксида меди.

# Коррозия металлов

- В результате взаимодействия металла и коррозионной среды образуются газообразные, жидкие или твердые продукты. От их свойств и агрегатного состояния зависит, в какой степени образующиеся продукты влияют на скорость взаимодействия металла с коррозионной средой.
- Так, газообразные продукты удаляются с поверхности, не препятствуя взаимодействию окислителя с металлом.
- Твердые продукты могут образовать пленку на поверхности металла, и развитие взаимодействия металла с окислителем вследствие этого может быть затруднено.
- Жидкая пленка продуктов также может затруднять коррозионное взаимодействие, но в меньшей степени, чем твердая. Если жидкая пленка электропроводна, коррозионный процесс из химического может превратиться в электрохимический. Это важно отметить, так как скорость электрохимического процесса при высоких температурах может быть более высокой.
- Наиболее характерны для высокотемпературной газовой коррозии взаимодействия металлов с окислителями через пленки твердых продуктов коррозии. Если пленка сплошная, то скорость коррозии снижается, и тогда пленку называют защитной.

# Коррозия металлов

- Когда объем продукта коррозии меньше объема металла, из которого эта пленка сформировалась, возникают внутренние напряжения растяжения, которые являются причиной разрывов и трещин в пленках. Через них окислитель свободно проникает к поверхности металла, и процесс коррозии продолжается.
- Если объем продукта коррозии значительно больше объема металла, из которого он образуется, то в пленке возникают напряжения сжатия, приводящие к вздутию, которое возможно при недостаточном сцеплении пленки с металлом. Отрыв пленки сопровождается сколами, облегчающими подход окислителя к металлу, и скорость коррозии возрастает. В тех случаях, когда пленка хорошо связана с металлом, силы сжатия обеспечивают скол оксидной пленки. Часть продукта «выталкивается» и скорость коррозии также возрастает.

# Коррозия металлов

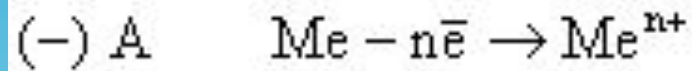
- *Электрохимическая коррозия* металла происходит в средах, имеющих ионную проводимость (в расплавах и растворах электролитов) и отличается от химической механизмом протекания.
- Особенность электрохимической коррозии заключается в том, что две сопряженные реакции - окисление металла и восстановление окислителя осуществляются на различных участках поверхности металлов. Процессы электрохимической коррозии подобны процессам, протекающим в гальванических элементах. Но, поскольку в коррозионном элементе анод и катод непосредственно соприкасаются друг с другом, то он является короткозамкнутым (т.е. отсутствует внешняя цепь).

# Коррозия металлов

- Электрохимическая коррозия может протекать:
- в электролитах - водные растворы солей, кислот, щелочей, морская вода;
- в атмосфере любого влажного газа;
- в почве.
- Особым видом электрохимической коррозии следует считать коррозию за счет внешнего электрического тока. В качестве примеров подобного рода разрушений можно привести коррозию трубопроводов с токопроводящими жидкостями, подземных металлических сооружений.

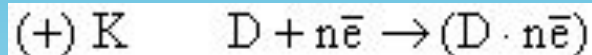
# Коррозия металлов

- *МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ*
- Коррозия металла в растворах электролитов протекает через *анодное окисление металла*

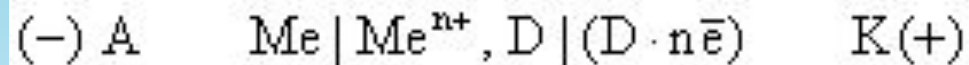


и *катодное восстановление окислителя*

(деполяризатора D)



- Схема коррозионного гальванического элемента может быть представлена следующим образом:



- Важнейшими деполяризаторами, вызывающими коррозию, являются растворенный кислород (O<sub>2</sub>) и ионы водорода (H<sup>+</sup>).

# Коррозия металлов

- Электродами при реакции являются либо различные элементы структуры материала, либо два различных соприкасающихся материала. Если в воде растворены ионы солей, электропроводность ее повышается, и скорость процесса увеличивается. Особо сильно действуют хлорид-ионы (содержащиеся, например в морской или пластовой или в воде, образовавшейся при таянии снега зимой, когда дороги посыпают солью), так как они катализируют процесс коррозии. С получающимися в процессе коррозии  $Fe(3+)$ -ионами ионы хлора образуют растворимые комплексы ( $FeCl_4^-$ ), что способствует ускорению окисления металла.

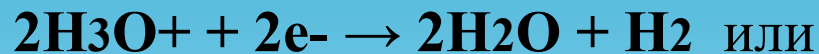
# Коррозия металлов

- При соприкосновении двух металлов с различными окислительно-восстановительными потенциалами и погружении их в раствор электролита, например, дождевой воды с растворенным углекислым газом  $\text{CO}_2$ , образуется гальванический элемент, так называемый, коррозионный элемент. Он представляет собой ни что иное, как замкнутую гальваническую ячейку. В ней происходит медленное растворение металлического материала с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом. Этот вид коррозии особо присущ металлам с высокими отрицательными потенциалами. Так, совсем небольшого количества примеси на поверхности металла с большим отрицательным потенциалом уже достаточно для возникновения коррозионного элемента. Особо подвержены риску места соприкосновения металлов с различными потенциалами, например, сварочные швы или заклёпки.

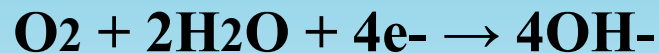


# Коррозия металлов

- **Водородная и кислородная коррозия**
- Если происходит восстановление ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$  или молекул воды  $\text{H}_2\text{O}$ , говорят о водородной коррозии или коррозии с водородной деполяризацией. Восстановление ионов происходит по следующей схеме:



- Если водород не выделяется, что часто происходит в нейтральной или сильно щелочной среде, происходит восстановление кислорода и здесь говорят о кислородной коррозии или коррозии с кислородной деполяризацией:



**в нейтральных и основных средах (pH > 7)**

- Коррозионный элемент может образовываться не только при соприкосновении двух различных металлов. Коррозионный элемент образуется и в случае одного металла, если, например, структура поверхности неоднородна.

# Коррозия металлов

- Возможность коррозии с водородной и кислородной деполяризацией может быть установлена с помощью формулы, связывающей энергию Гиббса и напряжение гальванического элемента.

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot \xi$$

- Коррозия возможна, если  $\Delta G < 0$ .

# Коррозия металлов

- Если потенциал металла отрицательнее потенциала водородного электрода, то возможна коррозия как с поглощением кислорода, так и с выделением водорода. К таким металлам относятся щелочные и щелочноземельные металлы, алюминий, цинк и др.
- Если потенциал металла положительнее потенциала водородного электрода и отрицательнее потенциала кислородного электрода, то коррозия возможна с поглощением кислорода и невозможна с выделением водорода. К этим металлам относятся Cd, Ni, Sn и др.).
- Если потенциал металла положительнее потенциала кислородного электрода, то коррозия металла невозможна. Это – благородные металлы, например, Au, Ag, Pt.

# Коррозия металлов

- *Основные случаи возникновения коррозионных гальванических пар*
- *а) Коррозия при контакте двух металлов*
- В результате соприкосновения разных металлов в присутствии электролита возникает электрохимическая коррозия. Электролитом может быть морская или природная вода, в которой всегда присутствуют соли, растворенные газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) и т.д.
- Рассмотрим возможность коррозии изделия из железа, находящегося в контакте с медью, в растворе электролита ( $\text{pH} = 10$ ).
- На рисунке – сквозная коррозия корпуса ЭЦН в месте расположения кабельного удлинителя.



# Коррозия металлов

- Так как в контакте находятся железо и медь со стандартными электродными потенциалами:
- $j^\circ_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}} = -0,44 \text{ В}; j^\circ_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = +0,34 \text{ В}$ , то при замыкании в электролите двух тел, имеющих различные потенциалы, пойдет электрический ток - перемещение электронов от более отрицательного электрода (железа) к более положительному электроду (меди).
- При этом железо будет разрушаться: ионы  $\text{Fe}^{2+}$  переходят из металлической решетки в электролит. Электроны, поступающие к меди, расходуются в процессе восстановления. Какой именно процесс восстановления будет протекать на поверхности меди, зависит от состава электролита.

# Коррозия металлов

- Анतिकоррозионные свойства существенно зависят от чистоты металла и однородности сплава. Так наличие примеси (Me2) на поверхности основного металла (Me1) при контакте с электролитом обуславливает возникновение гальванических микроэлементов вида:

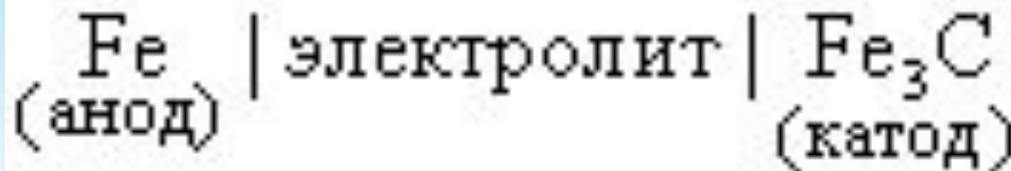
**Me1 | электролит | Me2**

- В этих элементах металл с меньшей величиной электродного потенциала выполняет функцию анода и разрушается.
- **Пример – порошковая металлургия РК и НА ЭЦН (железо + медь)**

# Коррозия металлов

## *Коррозия металла с токопроводящими неметаллическими примесями*

- Если в металле имеются включения неметаллов, оксидов, нитридов или карбидов, также протекает электрохимическая коррозия. Например, в стали есть кристаллы собственно железа и кристаллы цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ , которые по отношению к железу выступают в роли катода в микрогальваническом элементе:



# Коррозия металлов

- Чугун легко ржавеет в присутствии влаги из-за образования в наружном слое микроэлементов из железа и графита (в ряду электродных потенциалов углерод стоит после железа). В этих случаях микровключения как химически неактивные по сравнению с металлом образования выполняют функцию катода, а металл - анода. Схема такого микрогальванического элемента имеет вид:  
«металл | электролит | неметаллические включения»

**Именно поэтому нельзя серый чугун использовать для ЭЦН коррозионностойкого исполнения.**



# Коррозия металлов - защита

- Коррозию металлов можно затормозить изменением потенциала металла, пассивированием металла, изменением состава металла, изоляцией поверхности металла от окислителя, снижением концентрации окислителя и др. Выбор того или иного способа определяется его экономичностью и эффективностью.

Все методы защиты условно делят на следующие группы:

- создание рациональных конструкций;
- получение защитных покрытий (металлических и неметаллических);
- легирование металлов;
- изменение свойств коррозионной среды;
- электрохимическая защита.

# Коррозия металлов - защита

- **1) Создание рациональных конструкций.** Выбор материалов и их сочетаний должны обеспечивать высокую коррозионную устойчивость, а форма узлов и деталей допускать быструю очистку и смазку.

# Коррозия металлов - защита

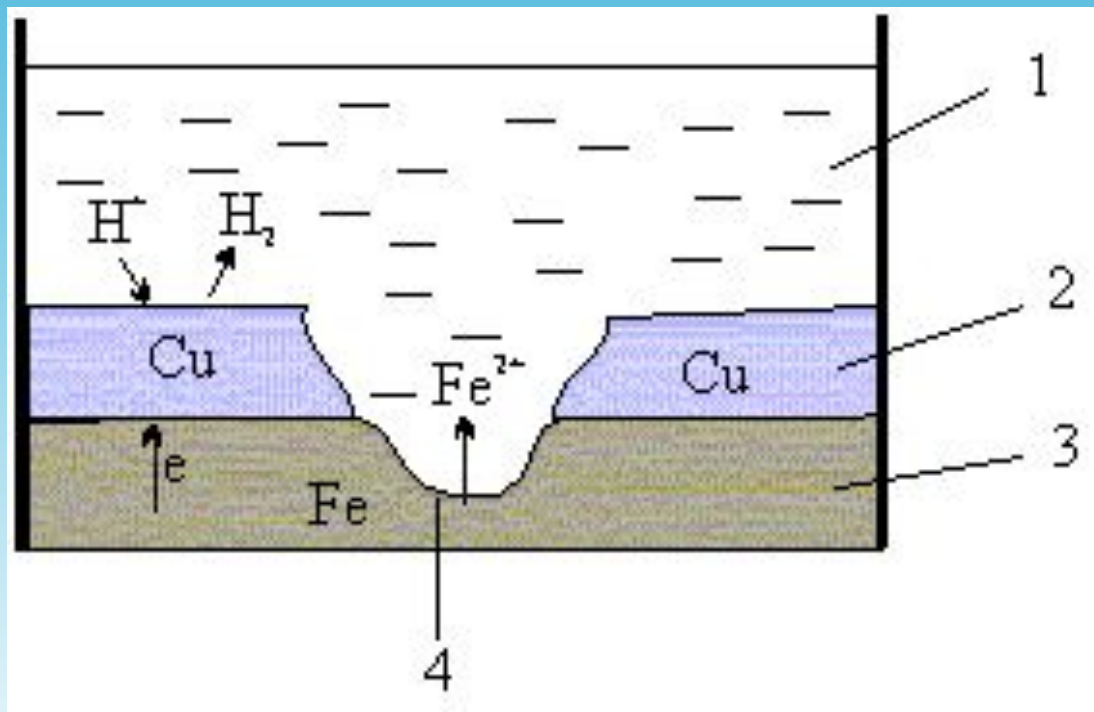
- **Защитные покрытия.** Слои, искусственно создаваемые на поверхности металлических изделий и сооружений для предохранения их от коррозии, называются защитными покрытиями. Если наряду с защитой от коррозии покрытие служит также для декоративных целей, его называют защитно-декоративным. Выбор вида покрытия зависит от условий, в которых используется изделие из металла.
- ***Металлические защитные покрытия.*** Методы нанесения металлических защитных слоев разнообразны, их делят на ***высокотемпературные и электрохимические.***

# Коррозия металлов - защита

- *Высокотемпературные.*
  - а) Метод окунания - применяют для нанесения покрытий из легкоплавких металлов на более тугоплавкие. Так покрывают стальные листы оловом, цинком и свинцом. Сущность метода сводится к тому, что в расплавленный металл, из которого хотят приготовить покрытие, через слой флюса погружают стальной лист и затем вынимают его. Металл кристаллизуется на поверхности.
  - б) Металлизация - это нанесение металлических покрытий на поверхность изделия распылением жидкого металла (в дуговом, искровом или плазменном разряде).
  - в) Планкирование - нанесение пленок из защитного металла путем совместного проката (используется для листов, прутков, угольников). Выпускают дюраль, планкированный алюминий, сталь, планкированную нержавеющей сталью.
- Электрохимические методы нанесения металлических покрытий основаны на электролизе. Металлические защитные слои осаждаются на поверхности изделия, которое в электролизере представляет собой катод.

# Коррозия металлов - защита

- Материалами для металлических покрытий могут быть как чистые металлы (цинк, кадмий, алюминий, никель, медь, хром, серебро, и др.), так и их сплавы (бронза, латунь и др.). В зависимости от активности металла, выполняющего роль защитного покрытия, различают катодные и анодные покрытия. К катодным - относят покрытия, потенциалы которых в данной среде имеют более положительные значения, чем потенциал защищаемого (основного) металла.



**Схема коррозии металла в кислом растворе при нарушении катодного покрытия: 1 - раствор; 2- покрытие; 3 - основной металл; 4 - пора.**

# Коррозия металлов - защита

- К *анодным покрытиям* относят покрытия, потенциалы которых в данной среде имеют более отрицательные значения, чем потенциал защищаемого (основного) металла. Так, для анодного покрытия стали служит цинк. В этом случае основной металл будет катодом коррозионного элемента, поэтому не корродирует.

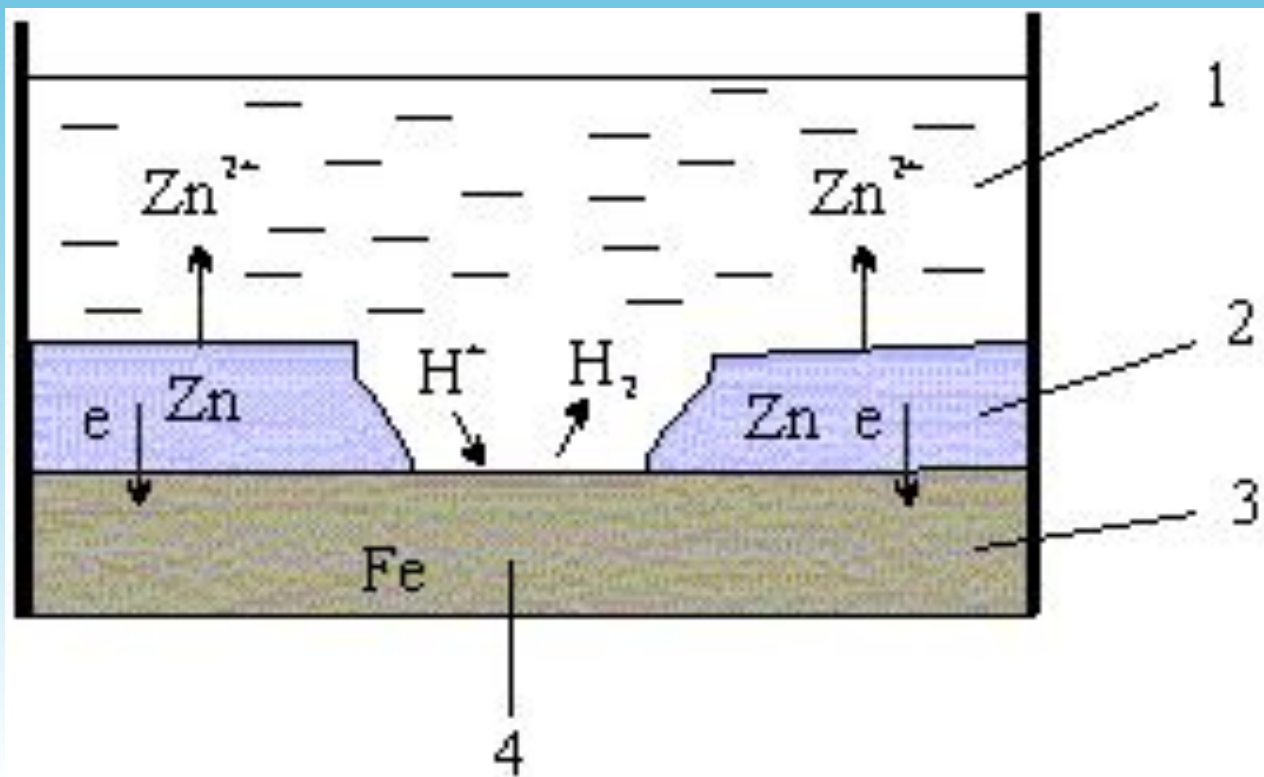


Схема коррозии металла в кислом растворе при нарушении анодного покрытия:  
1 - раствор;  
2- покрытие;  
3 - основной металл;  
4 - поры.

# Коррозия металлов - защита

- ***Неметаллические защитные покрытия.*** Различают неорганические и органические неметаллические покрытия. Защитное действие этих покрытий сводится, в основном, к изоляции металла от окружающей среды.
- В качестве *неорганических покрытий* применяют неорганические эмали, оксиды металлов, соединения хрома, фосфора и др. Эмалированию подвергаются черные и цветные металлы, которые используют в производстве аппаратуры для химической, пищевой отраслях промышленности, в производстве изделий домашнего обихода. Неорганические эмали по своему составу являются силикатами, т.е. соединениями кремния. Основными недостатками таких покрытий является хрупкость и растрескивание при тепловых и механических ударах.

# Коррозия металлов - защита



- Образование на поверхности металлических изделий защитных оксидных пленок при химической обработке металла называют *оксидированием*. Некоторые процессы имеют специальные названия. Процесс нанесения на сталь оксидных пленок называют *воронением*, а электрохимическое оксидирование алюминия - *анодированием*.
- На рис. – ступень ЭЦН с керамо-полимерным покрытием, создаваемым на поверхности металлических деталей методом плазменного электролитического оксидирования (ПЭО)



# Коррозия металлов - защита

- Фосфатные покрытия на стали получают из растворов ортофосфорной кислоты и ортофосфатов марганца и цинка (например,  $ZnHPO_4 + H_3PO_4$ ). При реакции образуется пористый кристаллический фосфат металла, хорошо сцепленный с поверхностью стали. Сами по себе фосфатные покрытия не обеспечивают достаточной защиты от коррозии. Их используют в основном в качестве подложки под краску, что повышает сцепление лакокрасочного покрытия со сталью и уменьшает коррозию в местах царапин.

# Коррозия металлов - защита

- К *органическим* относятся лакокрасочные покрытия, покрытия смолами, пластмассами, полимерными пленками, резиной. Так, при защите подземных трубопроводов применяют обмотку их полиэтиленом в виде липкой изоляционной ленты. Лакокрасочные покрытия наиболее распространены и незаменимы. Лакокрасочное покрытие должно быть сплошным, беспористым, газо- и водонепроницаемым, химически стойким, эластичным, обладать высоким сцеплением с материалом, обладать механической прочностью и твердостью. Указанные покрытия делят на две группы: лаки и краски (эмали). Краски (эмали) представляют собой смесь нерастворимых частиц пигмента (красителя), взвешенных в однородном органическом связующем. Лаки обычно состоят из смеси смолы или высыхающего масла с летучим растворителем.

# Коррозия металлов - защита

- **Легирование металлов.** Это эффективный (хотя и дорогой) метод повышения коррозионной стойкости металлов. При легировании в состав сплава вводят компоненты, вызывающие пассивацию металла: хром, никель, вольфрам и др.
- *Поверхностное легирование* представляет собой насыщение поверхности данного сплава металлом, который при высоких температурах окисляется энергичнее, чем железо, и образует при этом плотную защитную пленку оксида. Так осуществляют легирование стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование).
- *Объемное легирование* осуществляется одновременно с получением того или иного конструкционного материала. Так хром и никель, введенные в сталь, диффундируя к поверхности, образуют оксидный слой, содержащий шпинели состава:  $\text{NiO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Примеры – Нирезист (никелевый чугун с 14-28 % Никеля), сталь 15Х2М2НЗФ для штанг, сталь 20Х13 для ЦНС

# Коррозия металлов - защита

- **Изменение свойств коррозионной среды.**  
Для снижения агрессивности среды уменьшают концентрацию компонентов, опасных в коррозионном отношении. Например, агрессивность среды можно уменьшить снижением концентрации ионов  $H^+$ , (повышением pH): для этого в воду добавляют  $NaOH$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $NH_3$ .
- При  $pH = 8,8$  коррозия с водородной деполяризацией практически прекращается.

# Коррозия металлов - защита

- Для защиты от коррозии широко применяют ингибиторы. Это вещества, которые пассивируют поверхность металлов и препятствуют развитию коррозионных процессов. Ингибиторами могут быть как неорганические, так и органические вещества. Неорганические вещества применяются редко, главным образом, при травлении металлов. Кислые растворы ( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ) растворяют оксидную пленку на металле, а потом начинают растворять и сам металл. При добавлении соединений свинца -  $(CH_3COO)_2Pb$  - свинец осаждается на металлической поверхности, обнаженной от оксидной пленки, и прекращает ее растворение:
- $Me^0 + Pb^{2+} = Pb^0 + Me^{2+}$

# Коррозия металлов - защита

- **Электрохимическая защита.** Различают анодную, катодную и протекторную защиту. Этот метод основан на торможении анодных и катодных реакций коррозионного процесса. При работе коррозионной гальванической пары активный участок - анод разрушается и переходит в ионное состояние, развивая при этом некоторый отрицательный потенциал. Если на изделие извне наложить отрицательный потенциал, больший, чем развивает при работе коррозионной пары анод, то процесс прекратится.

# Коррозия металлов - защита



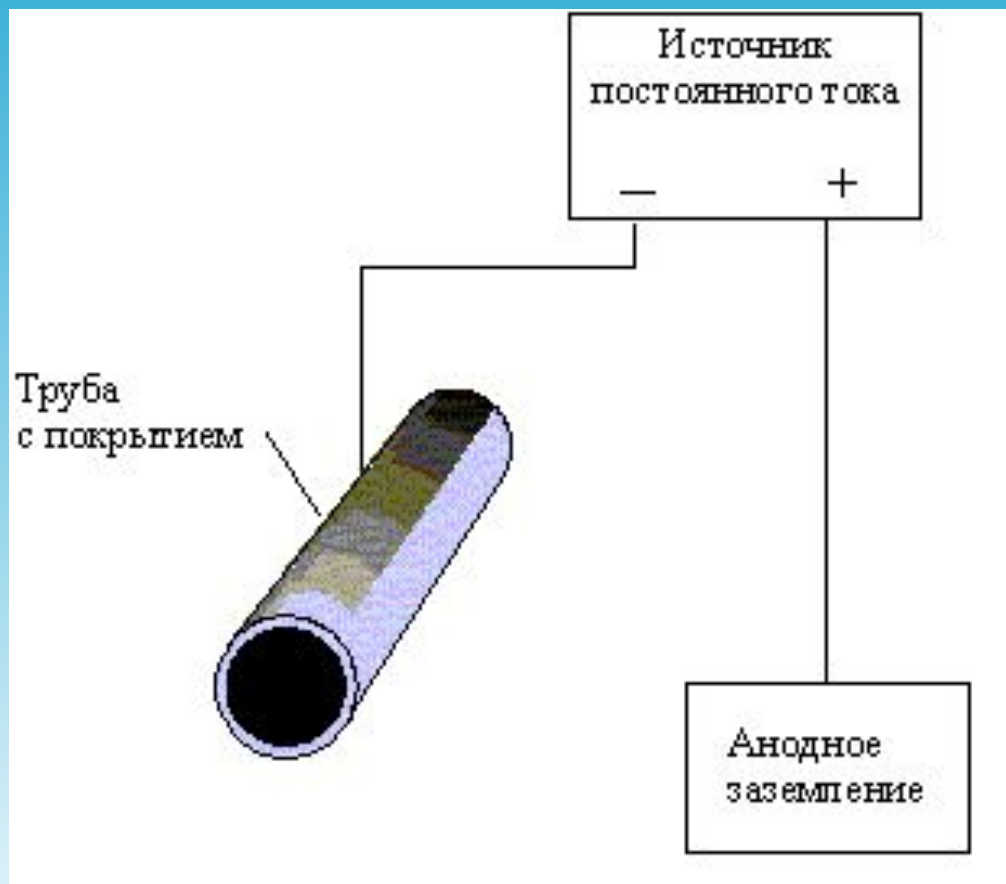
- **Метод протекторов** - заключается в том, что к изделию, подвергающемуся электрохимической коррозии, подключают деталь - протектор из еще более активного металла, чем металл изделия. Протектор (анод) будет разрушаться, а изделие (катод) останется неизменным. Для изготовления протекторов большей частью используют магний и его сплавы, цинк, алюминий.
- **Пример – бронзовые (латунные) защитные втулки + стальной вал ЭЦН!!! Нужен протектор!**

# Коррозия металлов - защита

- *Метод внешнего потенциала* (катодная защита) заключается в том, что защищаемое изделие подключается к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока, поэтому оно становится катодом, а анодом служит вспомогательный электрод. Вспомогательный электрод (анод) растворяется, на защищаемом сооружении (катоде) выделяется водород. Катодную защиту применяют к подземным трубопроводам, кабелям, оборудованию химических заводов.



# Коррозия металлов - защита



- **Схема катодной защиты (метод внешнего потенциала).**

# Основные направления совершенствования УЭЦН

1. *Применение листовой нержавеющей стали;*
2. *Высокая чистота поверхности;*
3. *Уменьшение отложения солей;*
4. *Возможность получения рабочих лопаток двойной кривизны;*
5. *Повышение КПД за счет использования п.п. 2,3,4;*



Специализированный участок  
для азотирования и нанесения  
защитного пиролитического  
покрытия на рабочих органах из  
порошковых материалов и серого  
чугуна



Н.аппарат НМ 003.016, ц/б, после азотирования.

Рис.1. Юбка



1000 мкм

(x100)



# Промыв ЭЦН при солеотложении за счет коррозии и эрозии

