

# Коррозия металлов

Волобуев Максим Николаевич  
vmn2007@ukr.net

Сделано с использованием L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Кафедра общей и неорганической химии,  
НТУ «ХПИ»

Харьков 2016

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
 $\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
 $\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)



# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Основные понятия

- Коррозия – самопроизвольный процесс разрушения металла в результате его физико-химического взаимодействия с окружающей средой
- Характер разрушения:
  - местная коррозия
  - общая (равномерная) коррозия
- Скорость коррозии – важнейший технологический показатель
  - потеря массы за единицу времени на единице поверхности  
$$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$$
  - уменьшение толщины слоя металла в единицу времени  
(мм/год)
- По механизму протекания коррозия бывает
  - химической (непроводящие среды)
  - электрохимической (проводящие среды)

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта

Примеры:

газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- Оценка возможности протекания:  $\Delta G$ , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта

Примеры:

газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- Оценка возможности протекания:  $\Delta G$ , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014 \text{ кДж}$ 
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта

Примеры:

газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- Оценка возможности протекания:  $\Delta G$ , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта

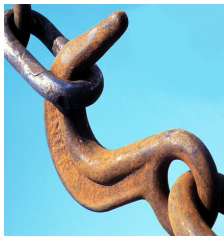


Примеры:  
газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- Оценка возможности протекания:  $\Delta G$ , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта



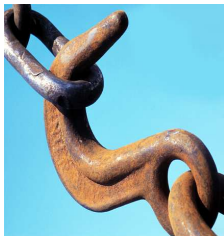
Примеры:  
газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- **Оценка возможности протекания:  $\Delta G$** , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость



# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта



Примеры:  
газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- **Оценка возможности протекания:  $\Delta G$** , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта



Примеры:  
газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- **Оценка возможности протекания:  $\Delta G$** , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Химическая коррозия

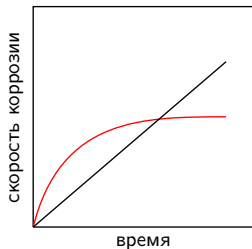
- Место протекания: контакт металла с окислителем
  - нет электрического тока
  - продукты коррозии образуются в месте контакта



Примеры:  
газовая коррозия;  
растворы неэлектролитов  
(нефтепродукты)

- **Оценка возможности протекания:  $\Delta G$** , например  
 $3\text{Fe}_{(к)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)}$ ,  $\Delta G = -1014$  кДж
  - оценка довольно грубая, реакции с  $\Delta G < 0$  не всегда протекают
  - продукты коррозии могут изолировать металл
  - не позволяет оценить скорость

# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером пленки

рыхлая пленка:

$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

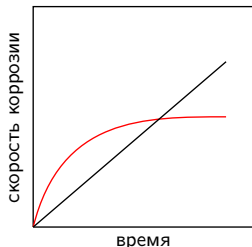
сплошная пленка:

$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина пленки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм)  
толстая (более 60 нм)
- Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
- Повышение  $T$ :
  - скорость коррозии увеличивается по параболе
  - изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)



# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером пленки

рыхлая пленка:

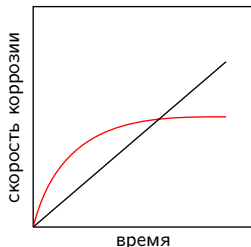
$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

сплошная пленка:

$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина пленки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм)  
толстая (более 60 нм)
  - Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
  - Повышение  $T$ :
    - скорость коррозии увеличивается по параболе
    - изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)
- $$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \xrightarrow{T > 700 \text{ K}} 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$$

# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером плёнки

рыхлая плёнка:

$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

сплошная плёнка:

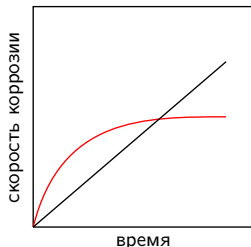
$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина плёнки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм), толстая (более 60 нм)
- Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
- Повышение  $T$ :

- скорость коррозии увеличивается по параболе
- изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)



# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером пленки

рыхлая пленка:

$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

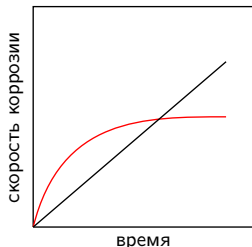
сплошная пленка:

$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина пленки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм)  
толстая (более 60 нм)
- Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
- Повышение  $T$ :
  - скорость коррозии увеличивается по параболе
  - изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)



# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером пленки

рыхлая пленка:

$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

сплошная пленка:

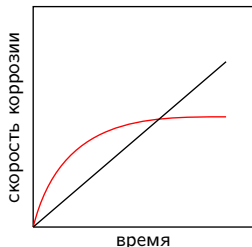
$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина пленки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм)  
толстая (более 60 нм)
- Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
- Повышение  $T$ :
  - скорость коррозии увеличивается по параболе
  - изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)





# Скорость химической коррозии



Скорость коррозии определяется характером пленки

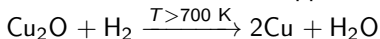
рыхлая пленка:

$$v_{\text{кор}} = kt \quad (\text{Fe(OH)}_3, \text{Na}_2\text{O})$$

сплошная пленка:

$$v_{\text{кор}} = k \ln t \quad (\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$$

- Толщина пленки: тонкая (до 40 нм), средняя (40-60 нм)  
толстая (более 60 нм)
- Лучшая защита: сплошная плёнка средней толщины
- Повышение  $T$ :
  - скорость коррозии увеличивается по параболе
  - изменение механизма коррозии (хрупкость Cu)



# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- Коррозионный гальванический элемент (КЭ)
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- Коррозионный гальванический элемент (КЭ)
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- Коррозионный гальванический элемент (КЭ)
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2, H^+, Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать



# Электрохимическая коррозия: общее описание

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\epsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

- Протекает в проводящих средах (почва, растворы)
  - окислитель и восстановитель разнесены
  - аналогия с гальваническим элементом
- **Коррозионный гальванический элемент (КЭ)**
  - анод – металл (окисление)
  - катод – окислитель ( $O_2$ ,  $H^+$ ,  $Cl_2$  и т.д.)
  - $\varepsilon_{КЭ} = E_{\text{окислителя}} - E_{\text{металла}}$
  - особенность КЭ: нет внешней цепи
- Оценка возможности протекания:

если  $\varepsilon_{КЭ} > 0$  коррозия может протекать

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - ① два контактирующих металла в разных растворах  
( $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ )
  - ② один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}, c_1 || \text{Cu}^{2+}, c_2|\text{Cu}, c_1 < c_2$ )
  - ③ два металла погружены в один раствор электролита  
( $\text{Fe}|\text{NaCl}|\text{Ni}$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \epsilon_{\text{КЭ}} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $Cu|Cu^{2+}, c_1 || Cu^{2+}, c_2|Cu, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $Fe|NaCl|Ni$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \epsilon_{КЭ} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $Cu|Cu^{2+}, c_1 || Cu^{2+}, c_2|Cu, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $Fe|NaCl|Ni$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \epsilon_{КЭ} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}, c_1 || \text{Cu}^{2+}, c_2|\text{Cu}, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $\text{Fe}|\text{NaCl}|\text{Ni}$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами ( $\Delta T = 10 \text{ K}, \epsilon_{\text{КЭ}} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $Cu|Cu^{2+}, c_1 || Cu^{2+}, c_2|Cu, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $Fe|NaCl|Ni$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \varepsilon_{КЭ} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $Cu|Cu^{2+}, c_1 || Cu^{2+}, c_2|Cu, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $Fe|NaCl|Ni$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \epsilon_{КЭ} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)



# Металлические коррозионные элементы

- Металлические КЭ: катод и анод – металлы
  - 1 два контактирующих металла в разных растворах  
( $Zn|Zn^{2+}||Cu^{2+}|Cu$ )
  - 2 один металл в растворах разных электролитов или одного электролита с разной концентрацией  
( $Cu|Cu^{2+}, c_1 || Cu^{2+}, c_2|Cu, c_1 < c_2$ )
  - 3 два металла погружены в один раствор электролита  
( $Fe|NaCl|Ni$ )
- Примеры таких КЭ:
  - элемент типа 2: растворы с разными температурами  
( $\Delta T = 10 \text{ K}, \varepsilon_{КЭ} = 10^{-3} \text{ В}$ )
  - элемент типа 3: один металл с разным состоянием поверхности (сварка, ковка и т.п.)

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполаризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  (pH < 7)  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  (pH  $\geq$  7)
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполаризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  (pH < 7)  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  (pH  $\geq$  7)
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059\text{pH}$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059\text{pH}$
- Напоминание:  $\varepsilon_{\text{КЭ}} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  (pH < 7)  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  (pH  $\geq$  7)
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  (pH < 7)  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  (pH  $\geq$  7)
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059\text{pH}$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059\text{pH}$
- Напоминание:  $\epsilon_{\text{КЭ}} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  (pH < 7)  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  (pH  $\geq$  7)
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  (pH < 7)  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  (pH  $\geq$  7)
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059\text{pH}$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059\text{pH}$
- Напоминание:  $\epsilon_{\text{КЭ}} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  ( $pH < 7$ )  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  ( $pH < 7$ )  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059pH$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059pH$
- Напоминание:  $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  ( $pH < 7$ )  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  ( $pH < 7$ )  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059pH$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059pH$
- Напоминание:  $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^{\circ}(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  ( $pH < 7$ )  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  ( $pH < 7$ )  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059pH$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059pH$
- Напоминание:  $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^{\circ}(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^{+}$  – водородная деполяризация  
 $2H^{+} + 2e = H_2$  ( $pH < 7$ )  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^{-}$  ( $pH \geq 7$ )
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^{+} + 4e = 2H_2O$  ( $pH < 7$ )  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^{-}$  ( $pH \geq 7$ )
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^{+}/H_2) = -0.059pH$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059pH$
- Напоминание:  $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$



# Процессы на электродах КЭ

- Анод КЭ: окисление металла  $M - ne = M^{n+}$   
 $E_{\text{анода}} = E^\circ(M^{n+}/M)$  (концентрация неизвестна)
- Катод КЭ: восстановление окислителя
  - восстановление  $H^+$  – водородная деполяризация  
 $2H^+ + 2e = H_2$  ( $pH < 7$ )  
 $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
  - восстановление  $O_2$  – кислородная деполяризация  
 $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$  ( $pH < 7$ )  
 $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$  ( $pH \geq 7$ )
- Электродные потенциалы ( $E_{\text{катода}}$ )
  - $E(2H^+/H_2) = -0.059pH$
  - $E(O_2/H_2O) = 1,23 - 0.059pH$
- Напоминание:  $\epsilon_{КЭ} = E_{\text{катода}} - E_{\text{анода}}$

# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2\text{e} = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2\text{e} = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

## Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

## Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии



# Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

## Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

## Вторичные процессы на электродах

- Коррозия металлов при  $\text{pH} \geq 7$  может сопровождаться образованием нерастворимого гидроксида
- Коррозия цинка в кислой среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$
- Коррозия цинка в нейтральной среде без кислорода
  - К:  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
  - А:  $\text{Zn} - 2e = \text{Zn}^{2+}$
  - Суммарно:  $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{H}_2$
- Вывод: коррозия в нейтральной среде протекает медленнее из-за нерастворимости продуктов коррозии

# Коррозионное поведение контакта металлов

- Основные правила для случая коррозии металла, который находится в контакте с другими металлами
  - металл с меньшим потенциалом выполняет роль анода и разрушается
  - второй металл пары остается неизменным, выполняя роль катода, на котором восстанавливается окислитель ( $H^+$  или  $O_2$ )
  - коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разница потенциалов контактирующих металлов
- Коррозия пар  $Fe \overset{-0,44}{|} Zn \overset{-0,76}{|}$  и  $Fe \overset{-0,44}{|} Sn \overset{-0,14}{|}$

# Коррозионное поведение контакта металлов

- Основные правила для случая коррозии металла, который находится в контакте с другими металлами
  - металл с меньшим потенциалом выполняет роль анода и разрушается
  - второй металл пары остается неизменным, выполняя роль катода, на котором восстанавливается окислитель ( $H^+$  или  $O_2$ )
  - коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разница потенциалов контактирующих металлов
- Коррозия пар  $Fe \overset{-0,44}{|} \overset{-0,76}{Zn}$  и  $Fe \overset{-0,44}{|} \overset{-0,14}{Sn}$

# Коррозионное поведение контакта металлов

- Основные правила для случая коррозии металла, который находится в контакте с другими металлами
  - металл с меньшим потенциалом выполняет роль анода и разрушается
  - второй металл пары остается неизменным, выполняя роль катода, на котором восстанавливается окислитель ( $H^+$  или  $O_2$ )
  - коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разница потенциалов контактирующих металлов
- Коррозия пар  $Fe \overset{-0,44}{|} \overset{-0,76}{Zn}$  и  $Fe \overset{-0,44}{|} \overset{-0,14}{Sn}$

# Коррозионное поведение контакта металлов

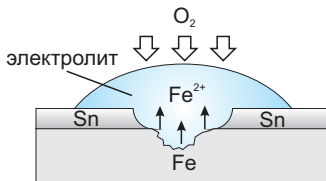
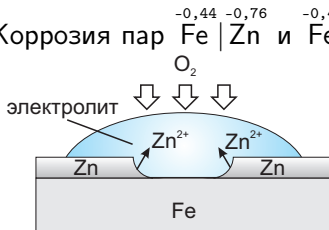
- Основные правила для случая коррозии металла, который находится в контакте с другими металлами
  - металл с меньшим потенциалом выполняет роль анода и разрушается
  - второй металл пары остается неизменным, выполняя роль катода, на котором восстанавливается окислитель ( $\text{H}^+$  или  $\text{O}_2$ )
  - коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разница потенциалов контактирующих металлов

- Коррозия пар  $\overset{-0,44}{\text{Fe}} | \overset{-0,76}{\text{Zn}}$  и  $\overset{-0,44}{\text{Fe}} | \overset{-0,14}{\text{Sn}}$

# Коррозионное поведение контакта металлов

- Основные правила для случая коррозии металла, который находится в контакте с другими металлами
  - металл с меньшим потенциалом выполняет роль анода и разрушается
  - второй металл пары остается неизменным, выполняя роль катода, на котором восстанавливается окислитель ( $H^+$  или  $O_2$ )
  - коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разница потенциалов контактирующих металлов

- Коррозия пар  $Fe | Zn$  и  $Fe | Sn$



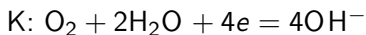
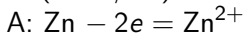


# Коррозия контактирующих металлов

- Коррозия пары Fe|Zn (анодное покрытие)

$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В},$$

$$E^{\circ}(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ В}$$



- Анодное покрытие защищает металл даже при повреждении покрытия
- Коррозия пары Fe|Sn (катодное покрытие)

$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В},$$

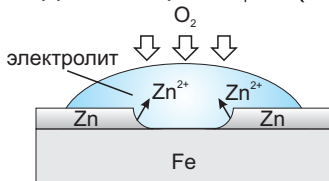
$$E^{\circ}(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0,14 \text{ В}$$



- Это покрытие защищает металл до повреждения

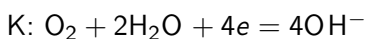
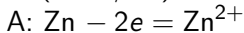
# Коррозия контактирующих металлов

- Коррозия пары Fe|Zn (анодное покрытие)



$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

$$E^{\circ}(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ В}$$



- Анодное покрытие **защищает металл даже при повреждении покрытия**
- Коррозия пары Fe|Sn (катодное покрытие)

$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

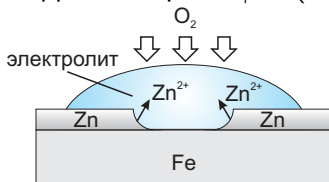
$$E^{\circ}(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0,14 \text{ В}$$



- Это покрытие защищает металл до повреждения

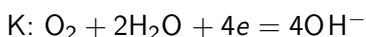
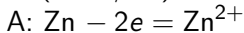
# Коррозия контактирующих металлов

- Коррозия пары Fe|Zn (анодное покрытие)

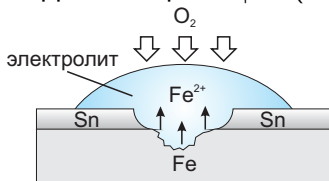


$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

$$E^{\circ}(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ В}$$

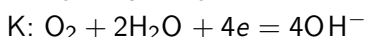
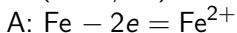


- Анодное покрытие защищает металл даже при повреждении покрытия
- Коррозия пары Fe|Sn (катодное покрытие)



$$E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

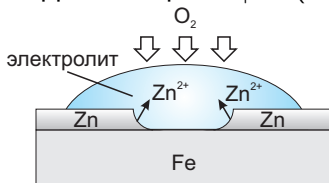
$$E^{\circ}(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0,14 \text{ В}$$



- Это покрытие защищает металл до повреждения

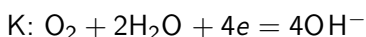
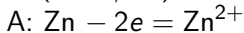
# Коррозия контактирующих металлов

- Коррозия пары Fe|Zn (анодное покрытие)

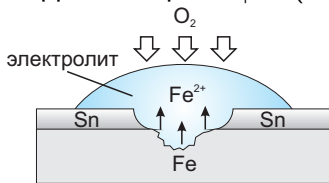


$$E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

$$E^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ В}$$

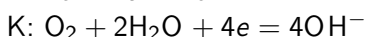
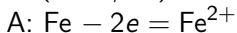


- Анодное покрытие защищает металл даже при повреждении покрытия
- Коррозия пары Fe|Sn (катодное покрытие)



$$E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ В,}$$

$$E^\circ(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0,14 \text{ В}$$



- Это покрытие **защищает металл до повреждения**

# Пассивность металла

- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки
- Пример:  $2\text{Al} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = 2\text{AlPO}_4\downarrow + 3\text{H}_2$
- Чаще всего пленка образована оксидом
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})} = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{к})} = \text{Al}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:
 
$$\text{SO}_4^{2-}, \text{OH}^-, \text{ClO}_4^-, \text{F}^-, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{Cl}^-$$
- Пример
  - $\text{Al} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$
  - $2\text{Al} + 3\text{CuCl}_2 = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Cu}$
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки
- Пример:  $2\text{Al} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = 2\text{AlPO}_4\downarrow + 3\text{H}_2$
- Чаще всего пленка образована оксидом
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})} = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{к})} = \text{Al}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:
 
$$\text{SO}_4^{2-}, \text{OH}^-, \text{ClO}_4^-, \text{F}^-, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{Cl}^-$$
- Пример
  - $\text{Al} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$
  - $2\text{Al} + 3\text{CuCl}_2 = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Cu}$
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки
- Пример:  $2\text{Al} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = 2\text{AlPO}_4\downarrow + 3\text{H}_2$
- Чаще всего пленка образована оксидом
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})} = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{к})} = \text{Al}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:
 
$$\text{SO}_4^{2-}, \text{OH}^-, \text{ClO}_4^-, \text{F}^-, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{Cl}^-$$
- Пример
  - $\text{Al} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$
  - $2\text{Al} + 3\text{CuCl}_2 = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Cu}$
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

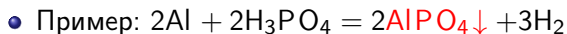
# Пассивность металла

- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки
- Пример:  $2\text{Al} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = 2\text{AlPO}_4\downarrow + 3\text{H}_2$
- Чаще всего пленка образована оксидом
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})} = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$
  - $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{к})} = \text{Al}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$
- Пример
  - $\text{Al} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$
  - $2\text{Al} + 3\text{CuCl}_2 = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Cu}$
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

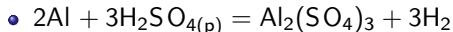


# Пассивность металла

- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



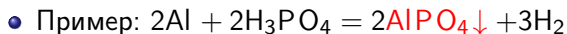
- Пример



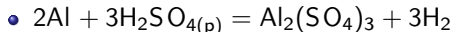
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

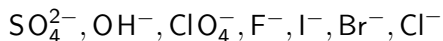
- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



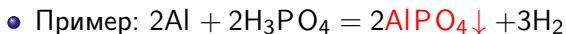
- Пример



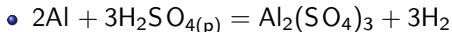
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

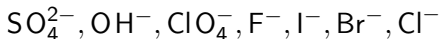
- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



- Пример



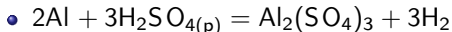
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

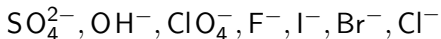
- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



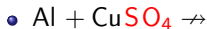
- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



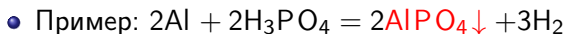
- Пример



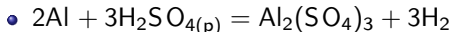
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

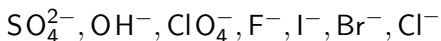
- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



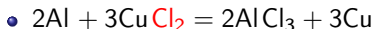
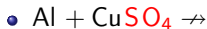
- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



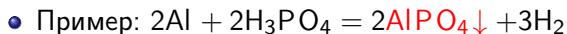
- Пример



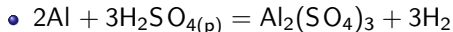
- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Пассивность металла

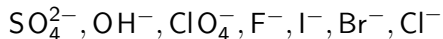
- Пассивность: образование на поверхности металла защитной пленки



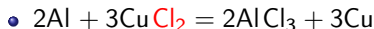
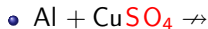
- Чаще всего пленка образована оксидом



- Депассивация – обратный процесс. Стимулируется депассиваторами, которыми выступают анионы:



- Пример



- Анионы-окислители ( $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ) могут как ускорять коррозию (восстанавливаясь на катоде), так и замедлять ее (пассивируя металл)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)



# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние pH на скорость коррозии

- Общее правило: **чем меньше pH**, тем больше потенциал катода, **тем выше скорость коррозии**
- Металлы делятся на 5 групп
  - с полной коррозионной стойкостью (Pt, Ag, Ti)
  - стойкие в щелочных средах, но разрушающиеся в кислых (Cd)
  - устойчивые в кислых средах, но разрушающиеся в щелочных (Ta, Mo, W)
  - устойчивые лишь в нейтральной среде (Zn, Al, Sn)
  - малоустойчивые в кислых средах, умеренно стойкие в нейтральных средах и пассивные в щелочных средах (Mg, Mn, Fe)

# Влияние других факторов

- На скорость коррозии влияют ионы которые
  - образуют нерастворимые соединения на поверхности металла ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на Fe)
  - являются депассиваторами и увеличивают скорость коррозии
  - гидролизуются и влияют на pH среды
- Повышение температуры ускоряет коррозию. Исключения: изменение механизма реакции



# Влияние других факторов

- На скорость коррозии влияют ионы которые
  - образуют нерастворимые соединения на поверхности металла ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на Fe)
  - являются депассиваторами и увеличивают скорость коррозии
  - гидролизуются и влияют на pH среды
- Повышение температуры ускоряет коррозию. Исключения: изменение механизма реакции



# Влияние других факторов

- На скорость коррозии влияют ионы которые
  - образуют нерастворимые соединения на поверхности металла ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на Fe)
  - являются депассиваторами и увеличивают скорость коррозии
  - гидролизуются и влияют на pH среды
- Повышение температуры ускоряет коррозию. Исключения: изменение механизма реакции





# Влияние других факторов

- На скорость коррозии влияют ионы которые
  - образуют нерастворимые соединения на поверхности металла ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на Fe)
  - являются депассиваторами и увеличивают скорость коррозии
  - гидролизуются и влияют на pH среды
- Повышение температуры ускоряет коррозию. Исключения: изменение механизма реакции



# Влияние других факторов

- На скорость коррозии влияют ионы которые
  - образуют нерастворимые соединения на поверхности металла ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на Fe)
  - являются депассиваторами и увеличивают скорость коррозии
  - гидролизуются и влияют на pH среды
- Повышение температуры ускоряет коррозию. Исключения: изменение механизма реакции

