



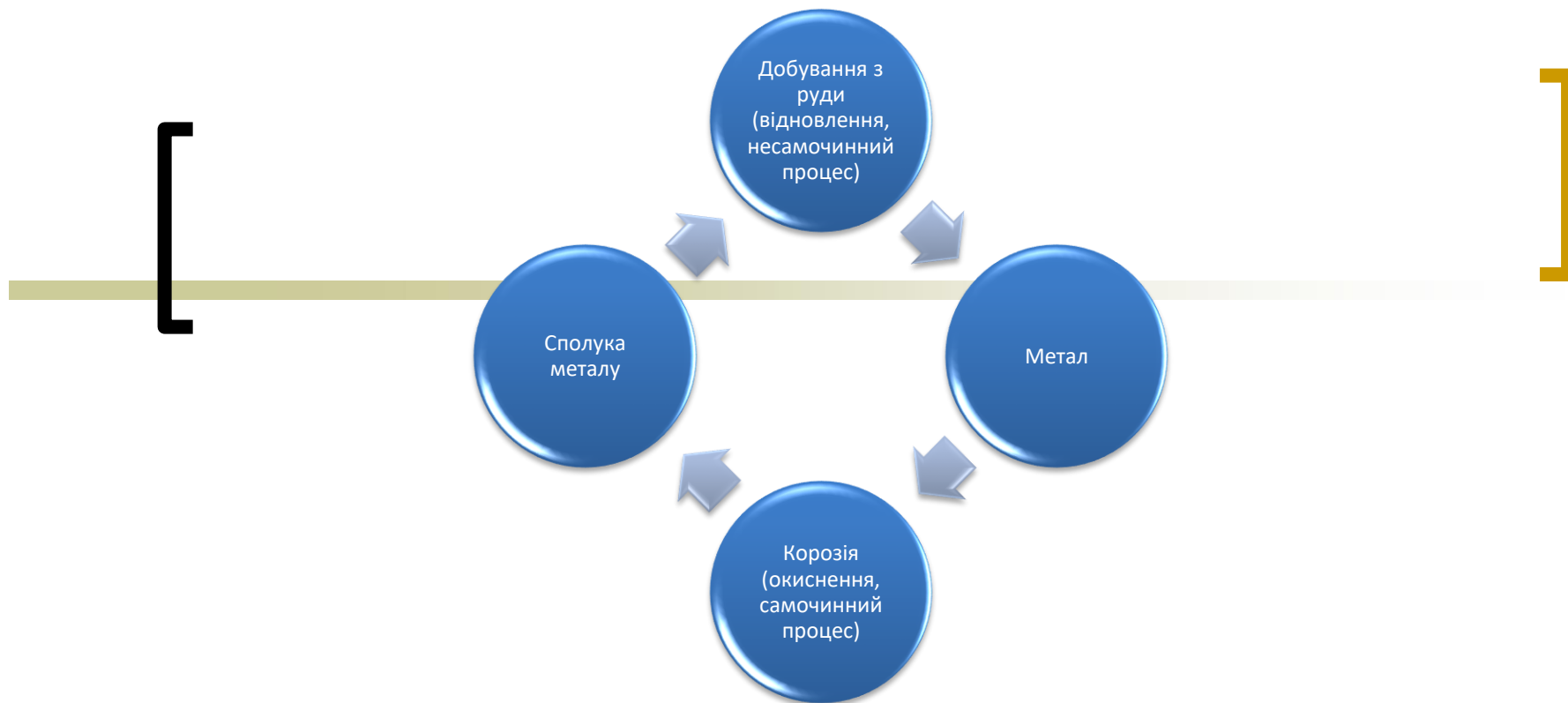
Лекція

КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ



# Корозія металів

- причини корозії
- класифікація корозійних процесів
- кількісні характеристики корозії
- фактори корозії



- **Корозія** – самочинний ( $\Delta G < 0$ ) гетерогенний окисно-відновний процес взаємодії метала з компонентами зовнішнього середовища, в результаті якого відбувається:
  - погіршення експлуатаційних властивостей метала і його руйнування;
  - забруднення навколишнього середовища.

# Корозія




# Корозія

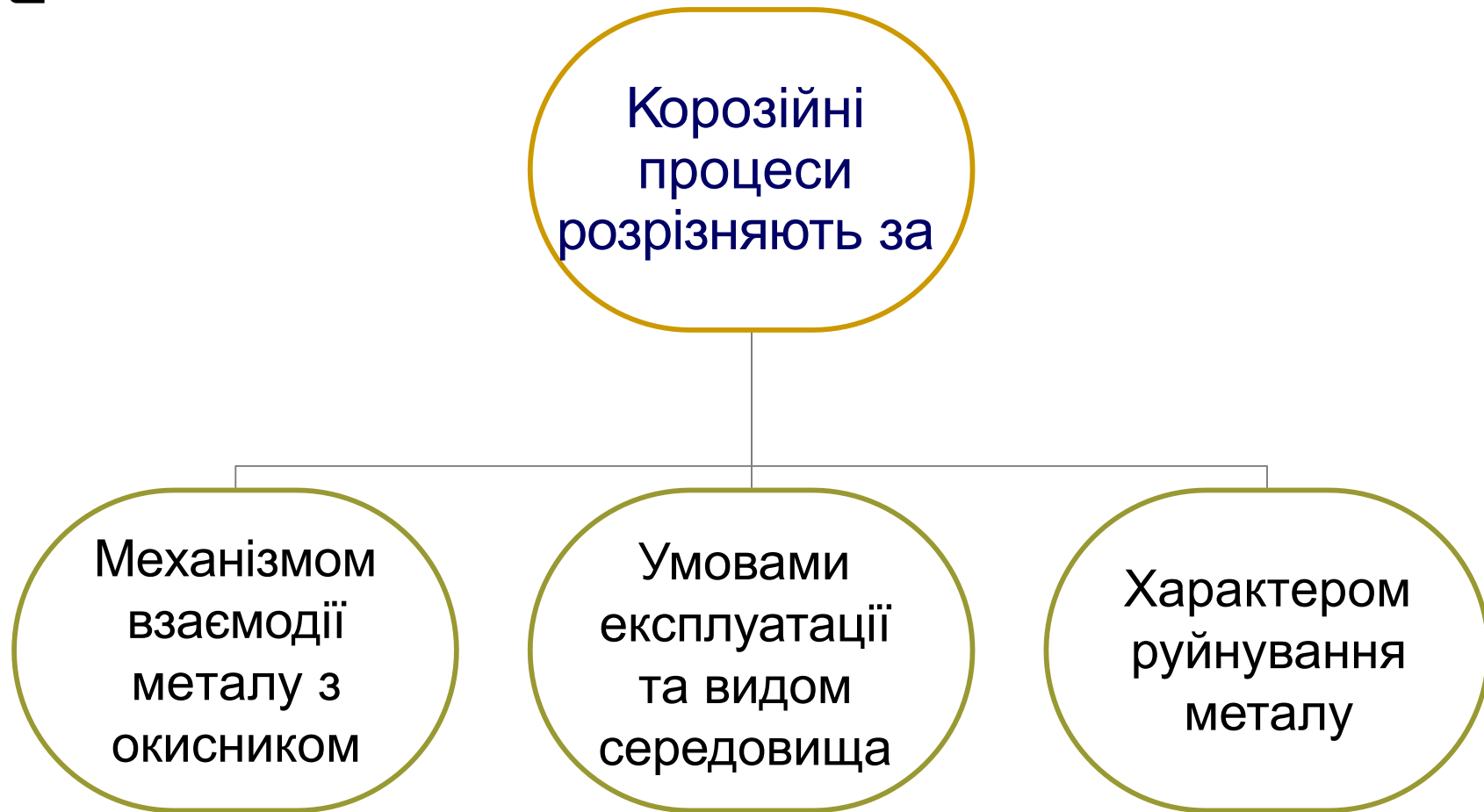


# [ Корозія ]



- 
- A decorative graphic consisting of a horizontal line with a gradient from light green to white. On the left side, there is a large black left square bracket. On the right side, there is a large yellow right square bracket.
- Головною причиною корозії є термодинамічна нестійкість метала в оточуючому середовищі, особливо за присутності кисню.
  - **Корозійний процес** включає дві паралельні (спряжені) реакції:
    - окиснення метала
    - відновлення окисника:  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $H^+$  та ін.

# Класифікація корозійних процесів

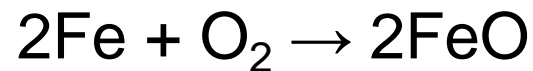


# Класифікація за механізмом



# Хімічна корозія

- Безпосередня взаємодія метала та окисника, коли немає конденсації вологи на міжфазній межі:



- Умови
  - корозія в сухих агресивних газах ( $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  та ін.) за високих температур;
  - корозія в неелектропровідних рідинах – скрапленому газі, нафті, олії та ін.

# Електрохімічна корозія

- **Електрохімічна корозія** відбувається у електропровідному середовищі за присутності вологи. Включає дві спряжені реакції на різних ділянках поверхні метала:

- **анодна** – окиснення метала  $M$  з утворенням катіону і вивільненням електронів:

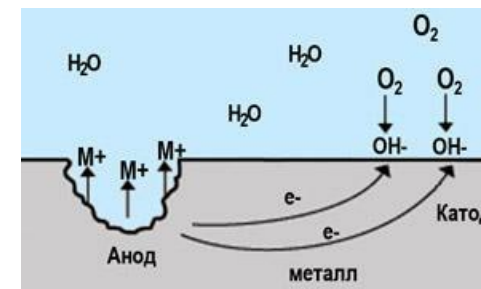
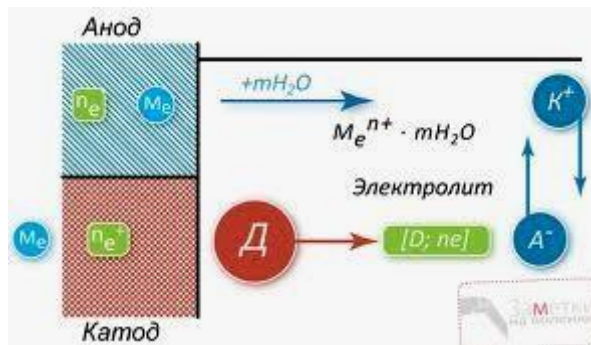
$e^-$



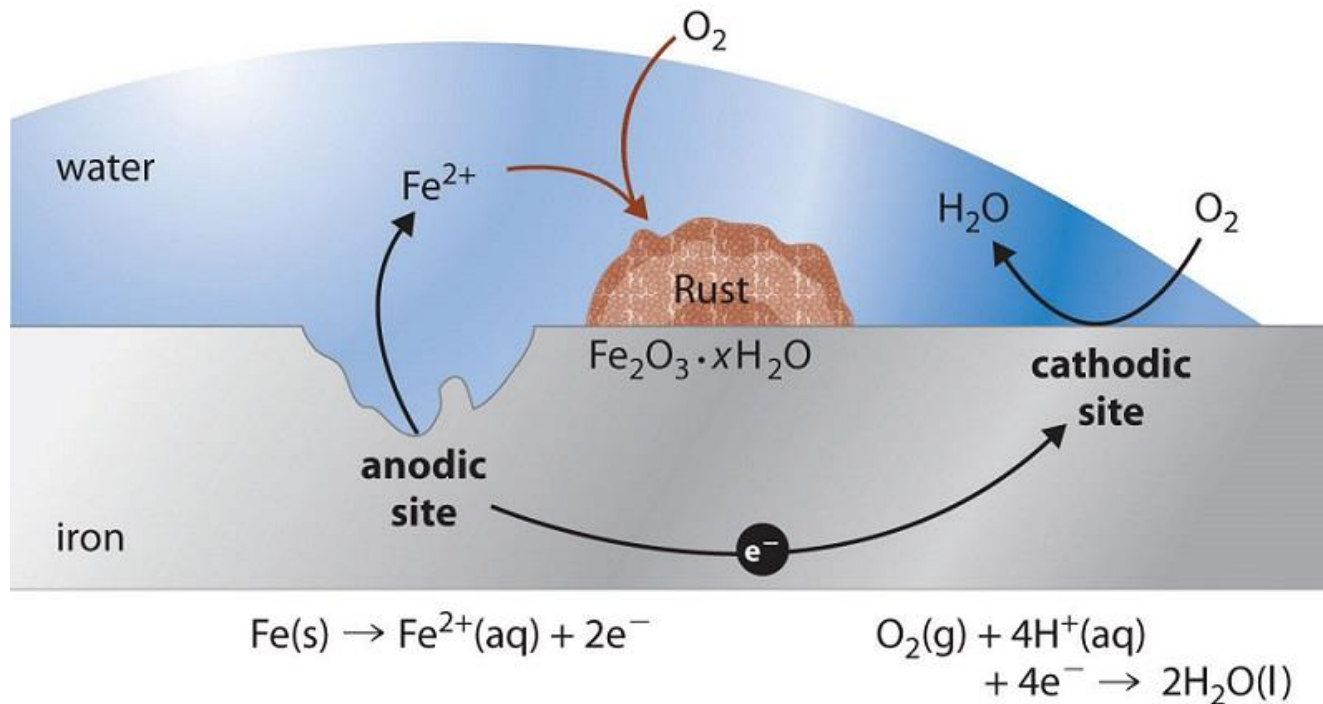
- **катодна** – відновлення окисника (деполяризатора)  $D$



електрони переміщуються від анодних ділянок до катодних.



# Електрохімічна корозія заліза

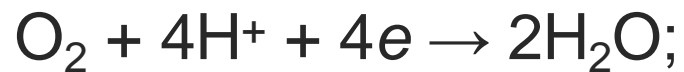


- Вторинна реакція в об'ємі  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe(OH)}_2$
- І далі можливо доокиснення Fe (II) до Fe (III) :  
 $4\text{Fe(OH)}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe(OH)}_3$

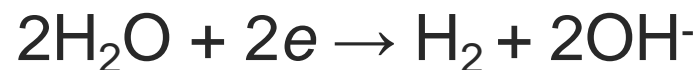
## Типи деполяризаторів

- Необхідною і достатньою умовою корозії метала є наявність у середовищі деполяризатора, ОВП якого вищій потенціалу метала:  $E(M^{z+}/M) < E(D)$ .

Кисле середовище :



Нейтральне та лужне середовище:

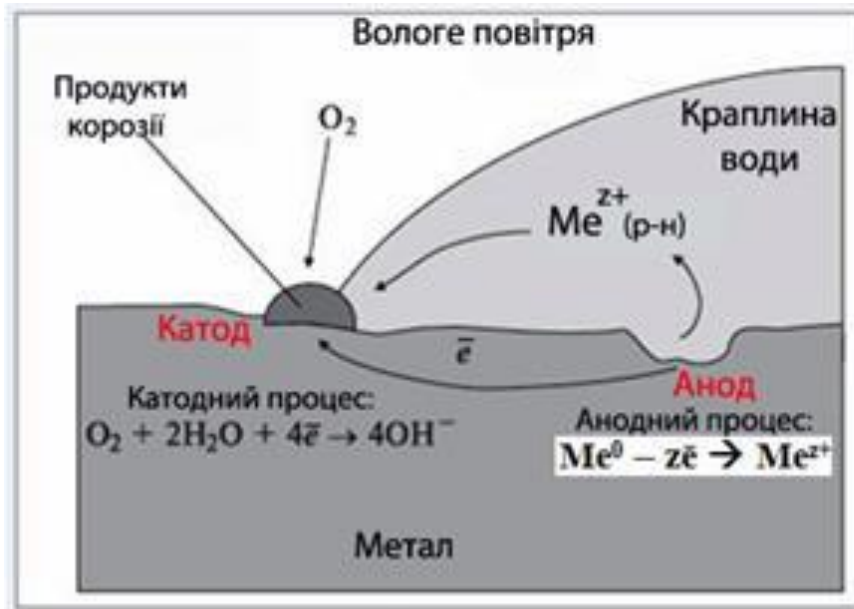


- Потенціали відновлення деполяризатора розраховують як:

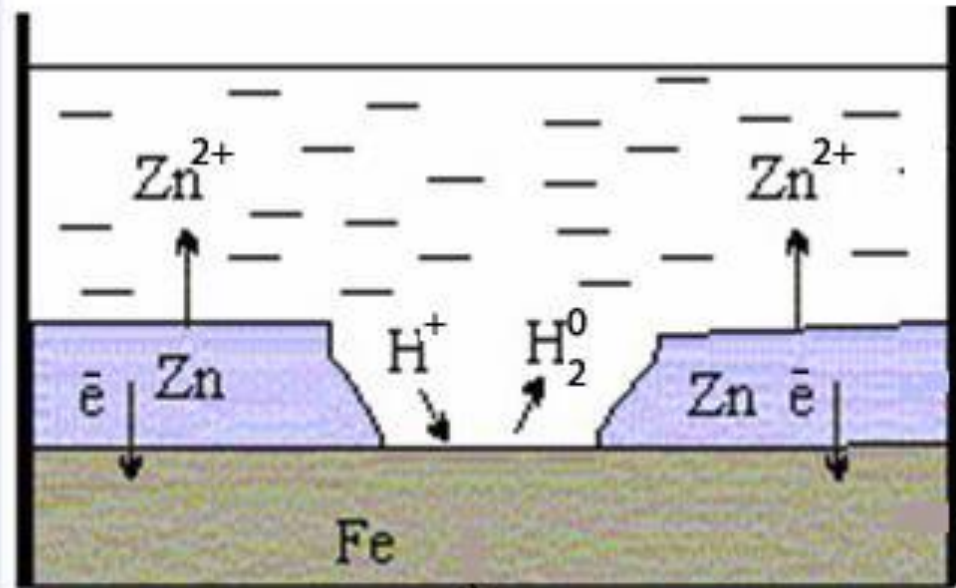
Водень  $E_H = -0,059pH$

Кисень  $E_O = 1,23 - 0,059pH$

# Типи деполяризаторів



а



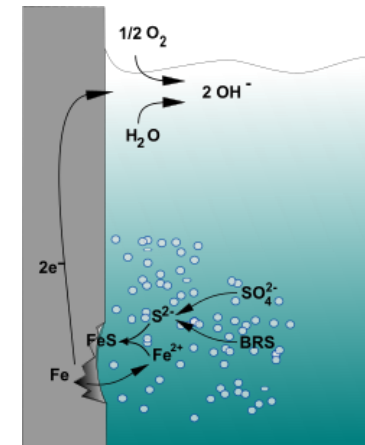
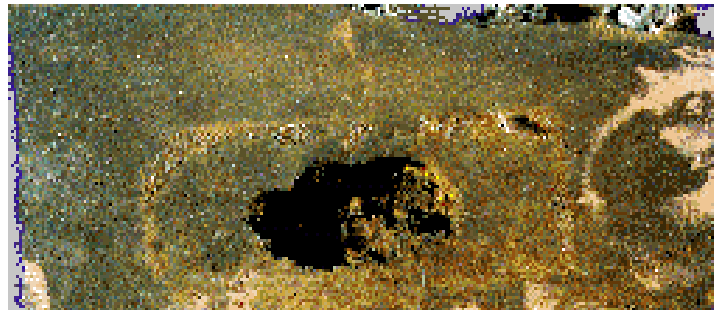
б

Схема корозії металу: а) з кисневою деполяризацією; б) з водневою деполяризацією

Корозійний процес, що супроводжується поглинанням і відновленням на катоді газоподібного кисню  $O_2$ , називається **корозія з кисневою деполяризацією**. Корозійний процес, при якому на катоді відновлюються йони гідрогену  $H^+$  і виділяється газоподібний водень  $H_2$ , називається **корозія з водневою деполяризацією**.

# Біологічна корозія

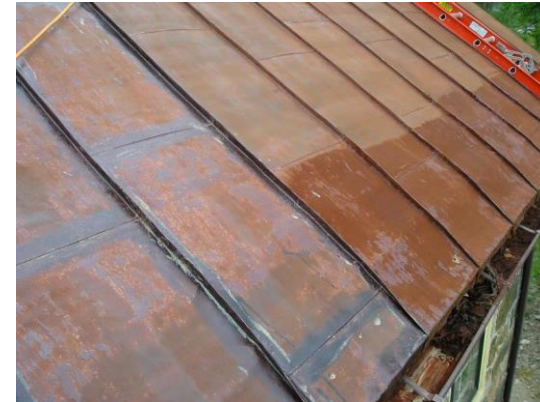
- відбувається під додатковим впливом біологічних факторів – мікро- (бактерії, віруси, грибки) або макро- організмів (рослин і тварин), життєві цикли яких ініціюють або прискорюють реакції.



Бактерія *thiobacillus ferrooxidans* отримує енергію шляхом окиснення  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , переміщуючи електрони на  $O_2$ . Вона також окислює сірку з утворенням  $H_2SO_4$ .

## Класифікація за умовами експлуатації

- **Атмосферна корозія** – руйнування металу під дією температури і вологості, особливо під дією вологих газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ), частинок солі, вугільного пилу та ін.



## Класифікація за умовами експлуатації

- **Підземна корозія** – метал руйнується у ґрунті різного хімічного складу, вологості, ступеня пористості і аерації.



## Класифікація за умовами експлуатації

- **Морська корозія** – у морській воді й атмосфері, які відрізняються високою концентрацією хлорид-іонів, електропровідністю, різним іонним і газовим складом та додатковою дією біологічних факторів.

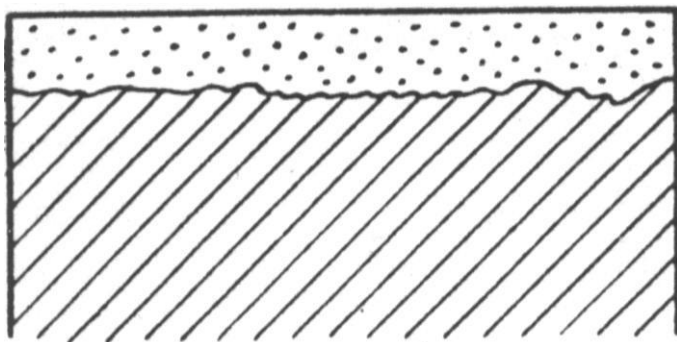


# За характером пошкодження метала

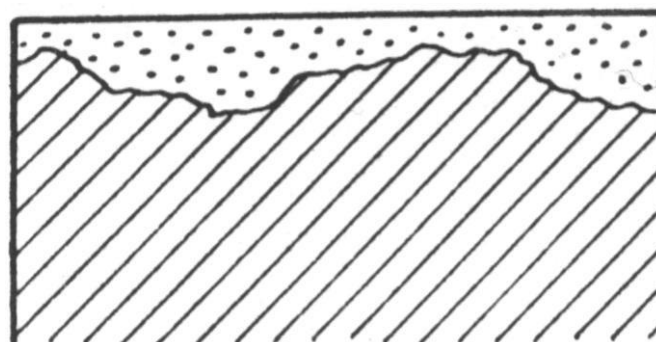
## Вид корозії



# [ Суцільна корозія ]

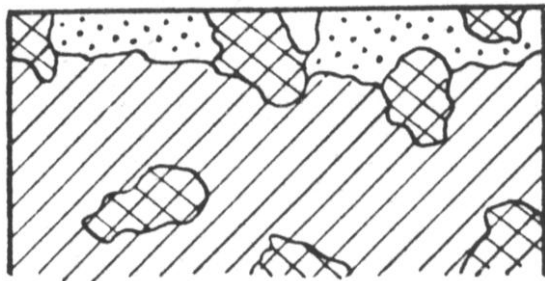


Рівномірна

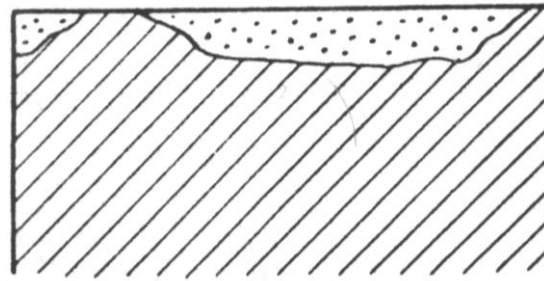


Нерівномірна

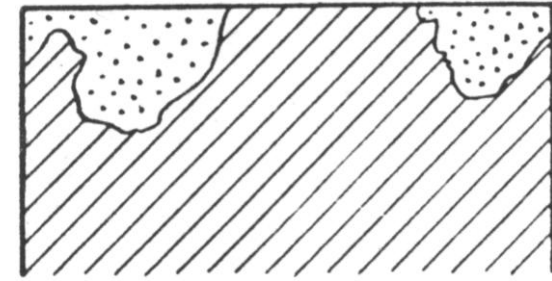
# Локальна корозія



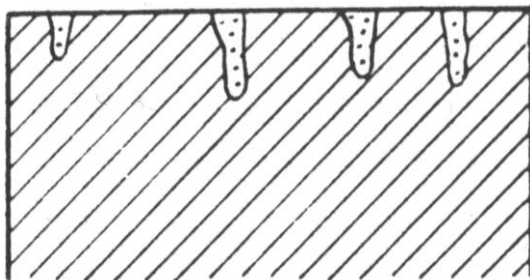
Структурно-селективна



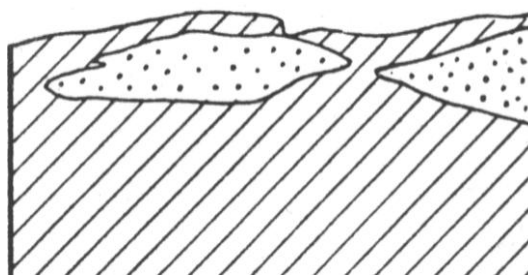
плямами



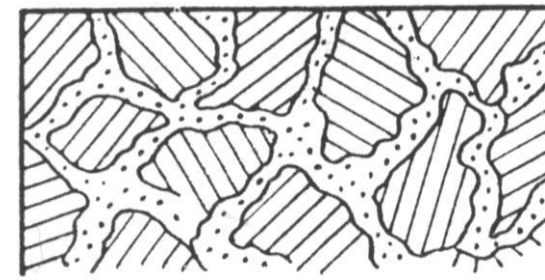
виразкова



пітингова



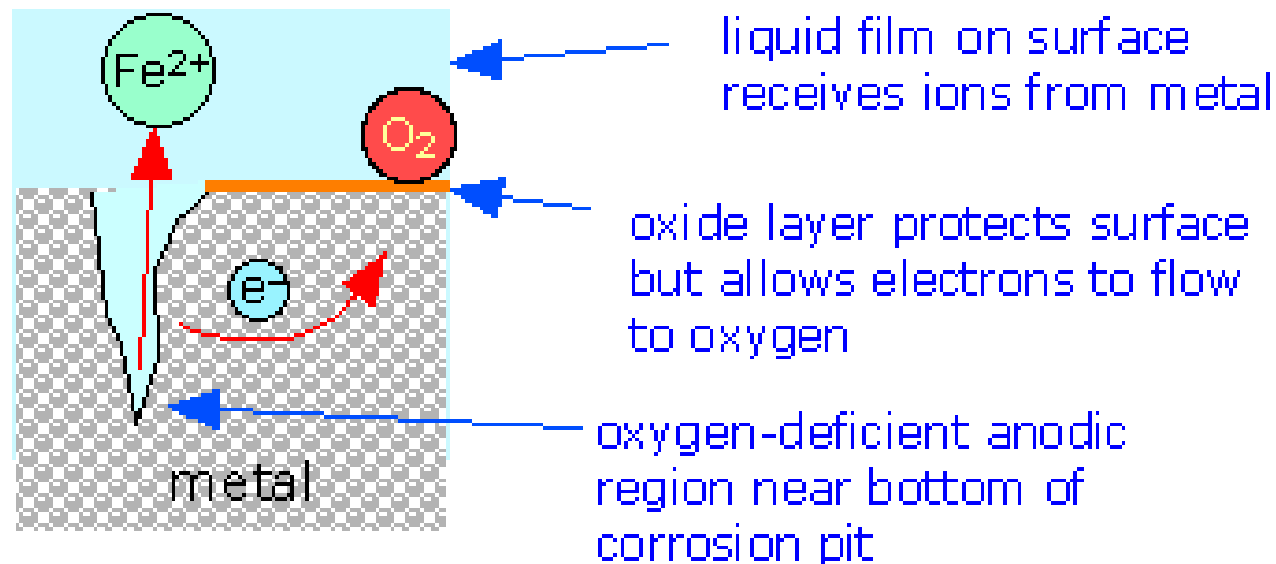
підповерхнева



міжкристалітна

# Пітингова корозія

- Більшість металів на повітрі вкриті плівкою оксидів, яка заважає їх руйнуванню.
- За присутності  $\text{Cl}^-$  іонів плівка може руйнуватися, і зароджується пітинг – анодна ділянка. Катодна реакція відновлення деполяризатора відбувається у гирлі пітинга або на всій поверхні.
- Пітинг розповсюджується вглиб, оскільки відбувається підкислення середовища за рахунок гідролізу катіонів металу.



# Кількісні характеристики корозії



## Масовий і глибинний показники

$$K_m = \frac{\Delta m}{S \cdot t},$$

де  $\Delta m$  – зміна маси, г;

$S$  – площа поверхні металу, м<sup>2</sup>;

$t$  – час корозійного руйнування, год.

$$K_h = \frac{h}{t},$$

де  $h$  – глибина проникнення корозії, мм;

$t$  – час корозійного руйнування, рік.

Фактори корозії

Внутрішні

Зовнішні

Природа металу

Чистота поверхні

Склад та структура сплавів

pH середовища

Концентрація O<sub>2</sub>

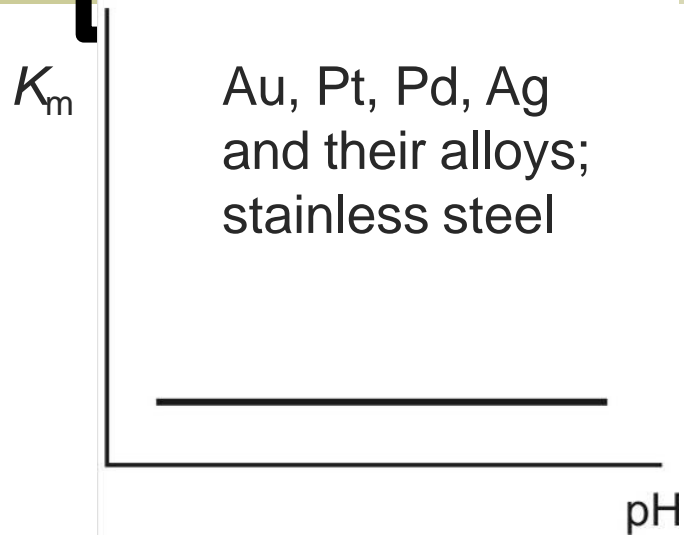
Іонний та газовий склад середовища

metal	$E^0, V$	metal	$E^0, V$	metal	$E^0, V$	metal	$E^0, V$
Li+/Li	-3,045	Al <sup>3+</sup> /Al	-1,663	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,277	Tc <sup>2+</sup> /Tc	0,400
Rb+/Rb	-2,925	Zr <sup>4+</sup> /Zr	-1,529	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,250	Co <sup>3+</sup> /Co	0,400
K+/K	-2,924	Ti <sup>2+</sup> /Ti	-1,210	In <sup>+</sup> /In	-0,250	Ru <sup>2+</sup> /Ru	0,450
Cs+/Cs	-2,923	V <sup>2+</sup> /V	-1,186	Mo <sup>3+</sup> /Mo	-0,200	Cu <sup>+</sup> /Cu	0,521
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,905	Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,179	W <sup>3+</sup> /W	-0,150	Rh <sup>2+</sup> /Rh	0,600
Sr <sup>2+</sup> /Sr	-2, 888	Ta <sup>3+</sup> /Ta	-1,126	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,139	Os <sup>2+</sup> /Os	0,700
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2, 866	Nb <sup>3+</sup> /Nb	-1,100	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,126	Tl <sup>3+</sup> /Tl	0,710
Na <sup>+</sup> /Na	-2,714	Cr <sup>2+</sup> /Cr	-0,912	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0,037	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	0,789
Ac <sup>3+</sup> /Ac	-2,600	V <sup>3+</sup> /V	-0,835	2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0,000	Ag <sup>+</sup> /Ag	0,789
La <sup>3+</sup> /La	-2,522	Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0,763	Ge <sup>2+</sup> /Ge	0,000	Pb <sup>4+</sup> /Pb	0,800
Nd <sup>3+</sup> /Nd	-2,431	Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,744	Sn <sup>4+</sup> /Sn	0,009	Hg <sup>2+</sup> /Hg	0,854
Y <sup>3+</sup> /Y	-2,372	Ga <sup>3+</sup> /Ga	-0,529	Bi <sup>3+</sup> /Bi	0,215	Pd <sup>2+</sup> /Pd	0,987
Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2, 363	Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,440	Sb <sup>3+</sup> /Sb	0,240	Ir <sup>2+</sup> /Ir	1,100
Sc <sup>3+</sup> /Sc	-2,077	Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,403	As <sup>3+</sup> /As	0,300	Pt <sup>2+</sup> /Pt	1,188
Be <sup>2+</sup> /Be	-1, 847	In <sup>3+</sup> /In	-0,343	Re <sup>3+</sup> /Re	0,300	Au <sup>3+</sup> /Au	1,498
Hf <sup>4+</sup> /Hf	-1,700	Tl <sup>+</sup> /Tl	-0,336	Cu <sup>2+</sup> /Cu	0,340	Au <sup>+</sup> /Au	1,692

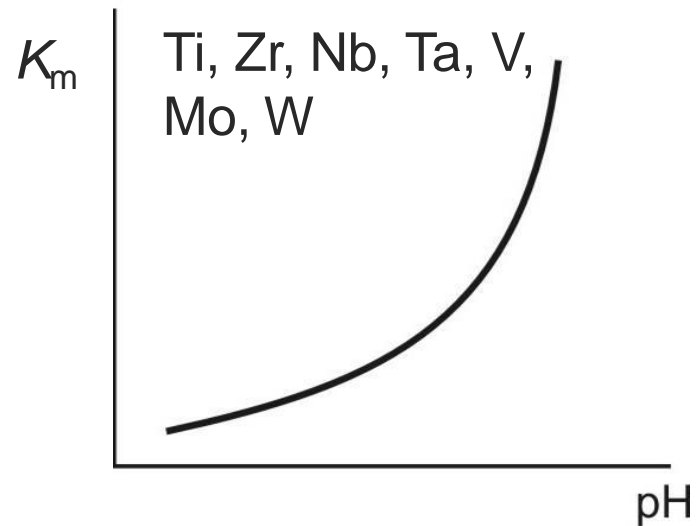
## Природа метала

- Чим менший потенціал метала, тим вища швидкість його корозії за інших рівних умов.
- Формування суцільної оксидної плівки на поверхні метала в умовах атмосфери сприяє пасивності.
- За схильністю до пасивації метали розташовують у ряд:  
$$\text{Ti} > \text{Zr} > \text{Ta} > \text{Nb} > \text{Al} > \text{Cr} > \text{V} > \text{Mo} > \text{Mg} > \\ > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Cu}.$$
- За рахунок оксидної плівки корозійна стійкість  $\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3$  в умовах атмосфери близька до стійкості  $\text{Cu}$ , але термодинамічна стійкість міді вища, ніж у  $\text{Al}$ .

## Вплив рН

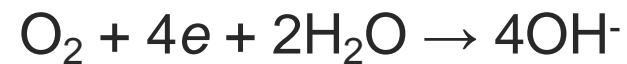
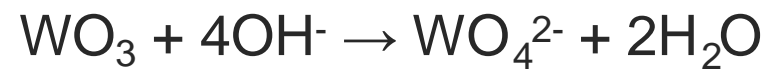


- Т/д стійки метали

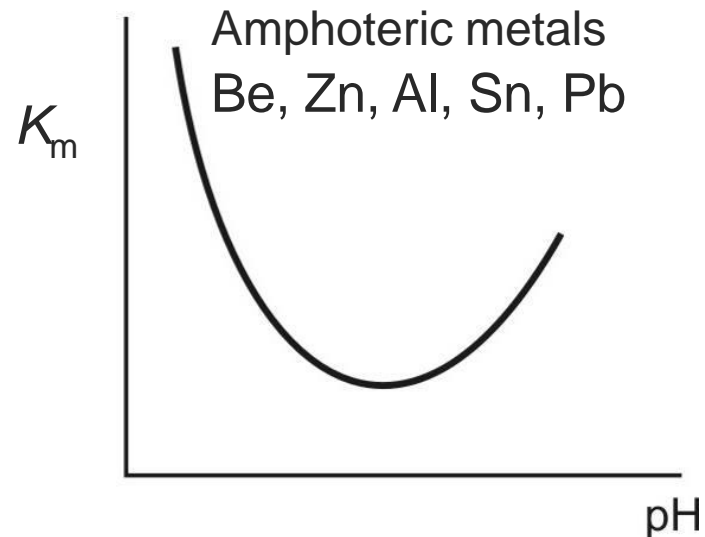
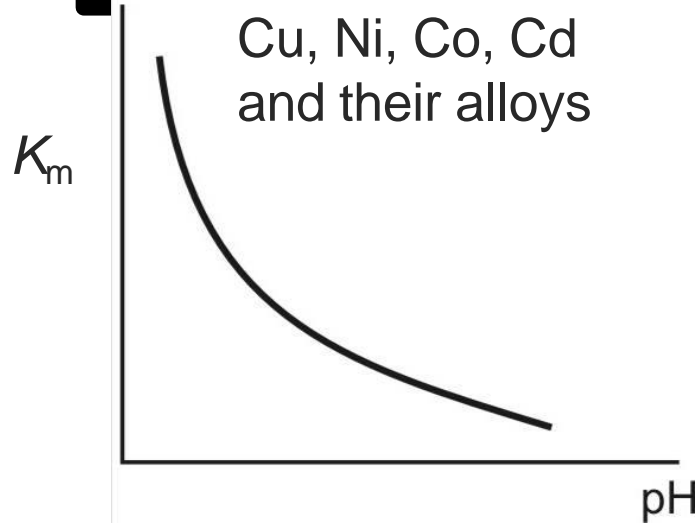


Оксидні плівки ( $MO_2$ ,  $M_2O_5$ ,  $MO_3$ ).

У лужному середовищі:



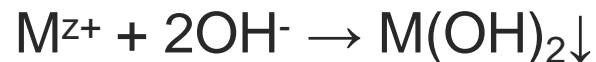
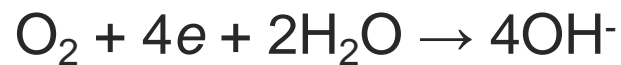
# Вплив рН



- у кислому середовищі:  $M - ze \rightarrow M^{z+}$



У нейтральному і лужному:



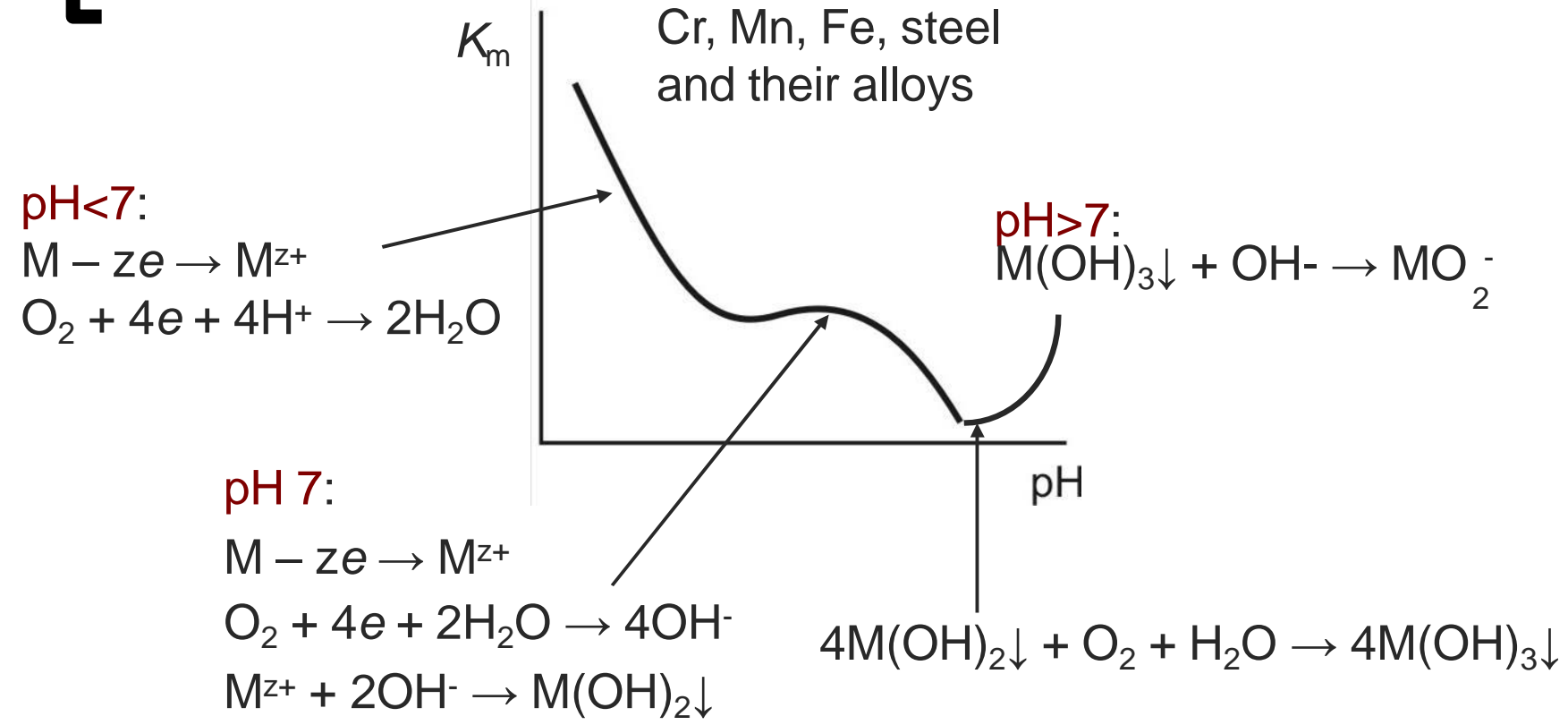
У нейтральному:



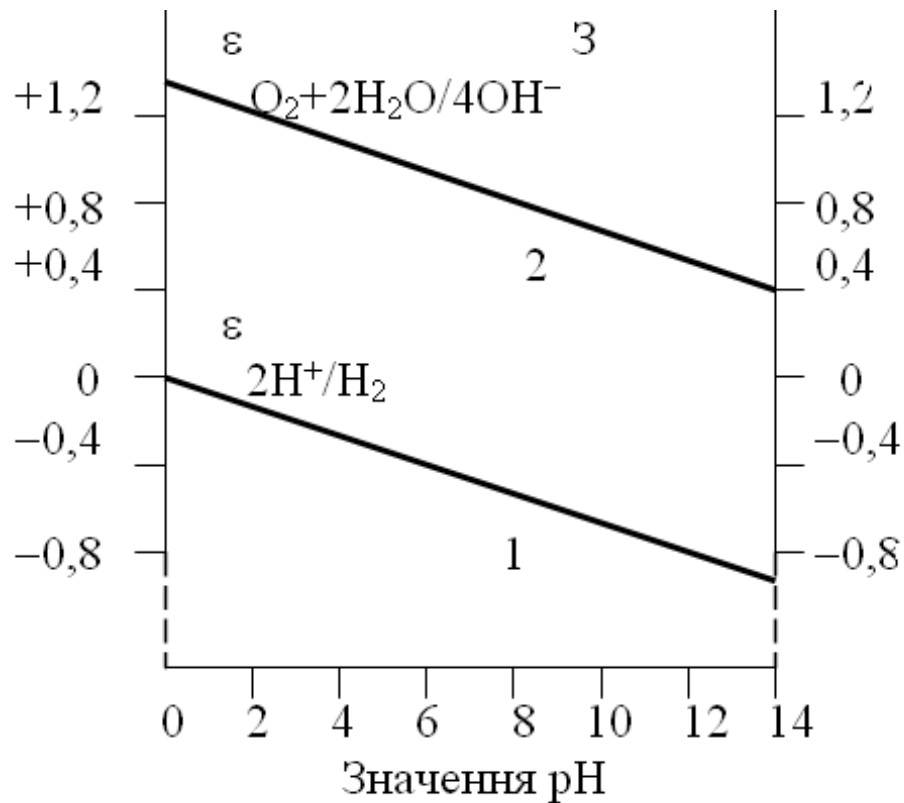
У лужному:



# Вплив рН

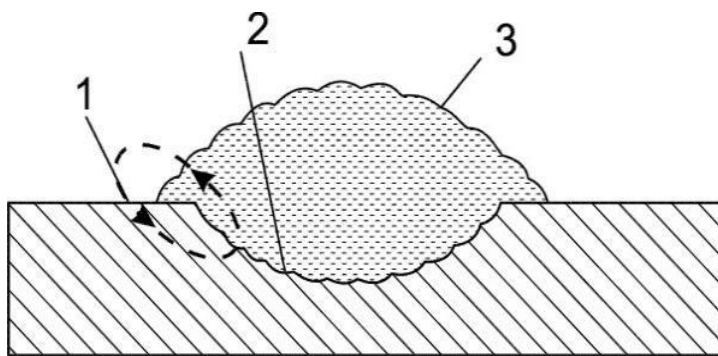


# Вплив рН

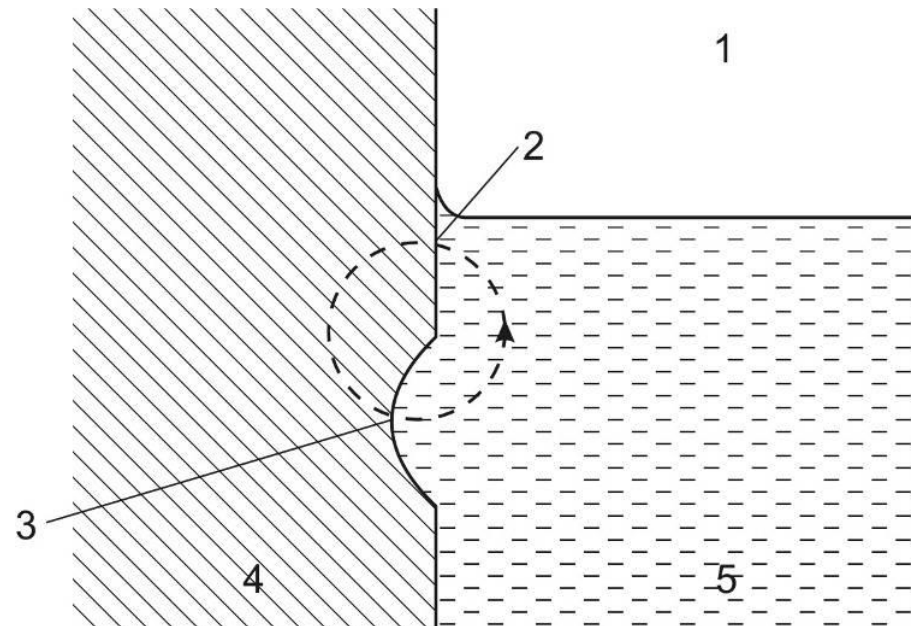


- корозія можлива, коли потенціал окисника в корозійному середовищі більш додатний, ніж потенціал металу.
- 3 – метал не кородує;
- 2 - метал кородує з кисневою деполяризацією;
- 1 - корозія металу можлива як з кисневою, так і з водневою деполяризаціями.

# Вплив концентрації $O_2$



Катодна реакція (1)  
відбувається на ділянках з  
більшею концентрацією  $O_2$ ,  
анодна (2) – під шаром  
продуктів корозії (3)



1 – повітря,  
2 – катодна реакція,  
3 – анодна реакція,  
4 – метал,  
5 – морська вода.

# Вплив концентрації $O_2$

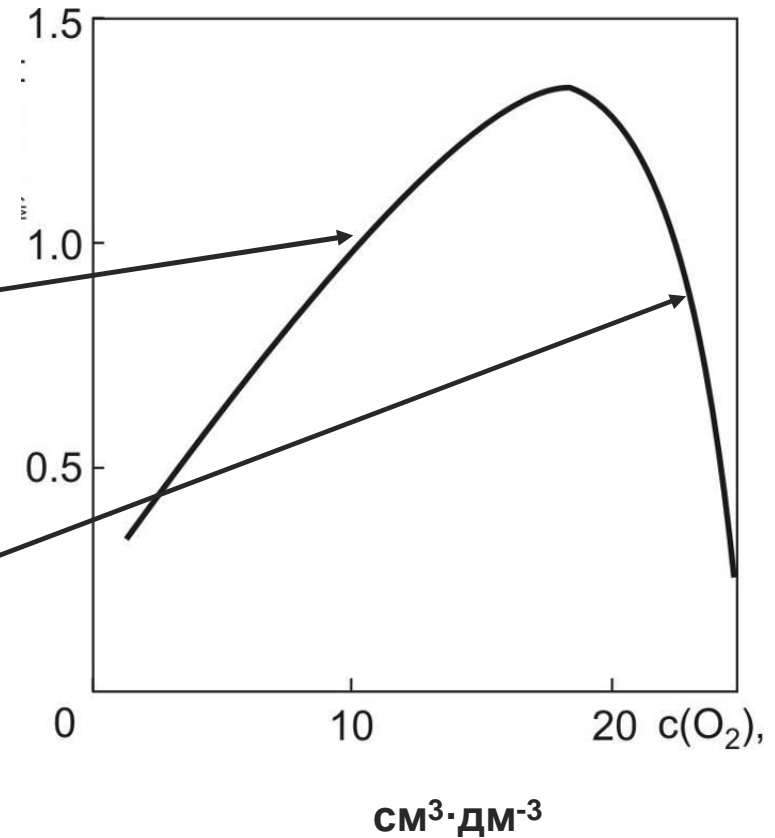
- $O_2 + 4e + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$
- $O_2 + 4e + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$

- $v = k \cdot c(O_2) \cdot c(H^+)^4$

- $v = k \cdot c(O_2) \cdot c(H_2O)^2$

- Пасивація за рахунок утворення оксиду

$K_m, \text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$

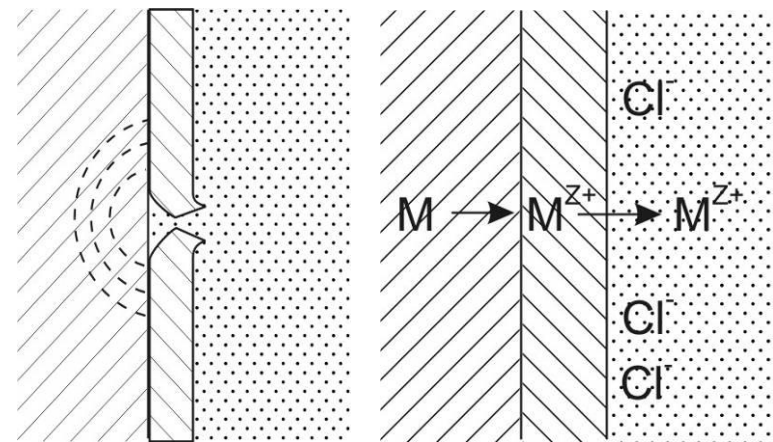
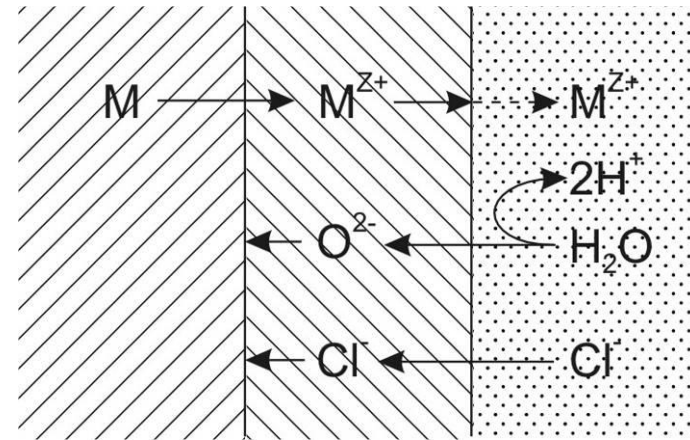


# Активатори корозії

- **Аніони**, які руйнують оксидну плівку і запобігають пасивації. За активуючою дією аніони розташовують у ряд:

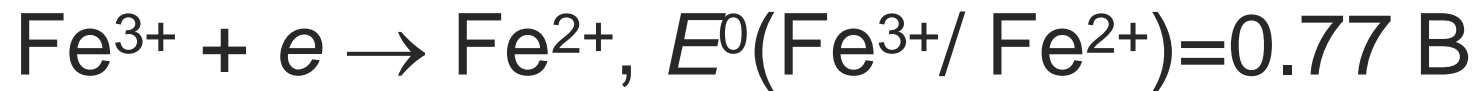


- Речовини, які утворюють розчинні продукти корозії:  
 $\text{NH}_3$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{CNS}^-$ ,  
 $\text{OH}^-$  – для амфотерних металів

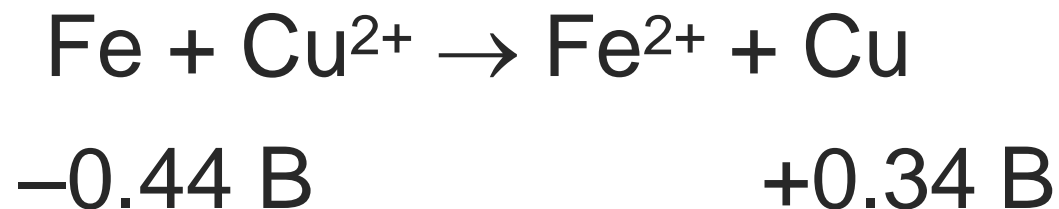


## Активатори корозії

- катіони металів різної валентності:

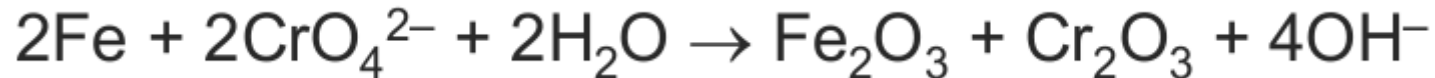


- катіони менш активних металів, які є окисниками:

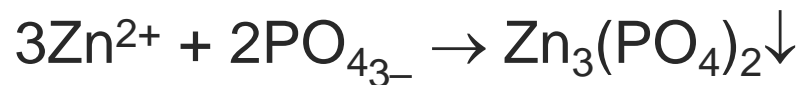


## Сповільнювачі корозії

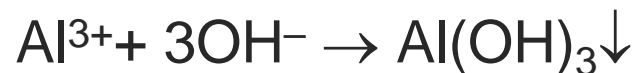
- **аніони – окисники** ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ , ) формують оксиди на поверхні метала:



- **аніони – пасиватори** ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) утворюють нерозчинні продукти:



- **катиони більш активних металів** ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  та інш) утворюють нерозчинні гідроксиди з  $\text{OH}^-$ -іонами:



# Контакт металів

- Наступний метал прискорює корозію попереднього в одній групі;
- метал наступної групи прискорює корозію металів попередньої.
- метали однієї групи можна безпосередньо поєднувати у приладах, пристроях та конструкціях.

Група	Метал
I	Mg
II	Zn, Al та їх сплави, Cd
III	Fe, сталь, Sn, Pb
IV	Ni, Cr, хромисті та Ni-вмісні сталі
V	Cu-Ni, Cu-Sn, Cu-Zn сплави, Cu, Ag
VI	Pt, Pd, Au та їх сплави



# Захист металів від корозії

# Методи захисту

Дія на метал

Модифікація  
середовища та  
умов експлуатації

Комбіновані  
методи

Легування

Раціональне  
конструювання

Комплексна  
дія на метал

Обробка  
поверхні

Обробка  
середовища

Комплексна дія  
на середовище

Покриття

Інгібітори

Комплексна  
дія на метал та  
середовище

Електрохімічний  
захист

## Методи захисту

- **Активні** – змінюють природу метала і середовища або механізм і кінетику корозії:
  - легування;
  - зниження агресивності середовища,
  - видалення деполяризаторів,
  - додавання інгібіторів,
  - електрохімічний захист.

## Методи захисту

- **Пасивні** – не впливають на природу метала і механізм корозії та спрямовані на ізоляцію конструкції від агресивного середовища;
- **Пасивно-активні** не впливають на природу метала, але дещо змінюють механізм корозії – ізоляція поверхні металевими і неметалевими неорганічними покриттями.

A decorative graphic consisting of a horizontal bar with a gradient from light to dark olive green. On the left side, a black bracket is positioned vertically, with a thin yellow circle partially overlapping the bar. On the right side, a yellow bracket is positioned vertically, also overlapping the bar. The text 'Методи впливу на метал' is centered within the bar in a dark blue font.

## Методи впливу на метал

- Вибір матеріалів
- Легування сталі
- Обробка поверхні
- Покриви



## ВИБІР МАТЕРІАЛІВ

корозійно стійких у конкретному  
агресивному середовищі

✓ **Метали та сплави**

✓ **Неметалеві** [гуми, пластмаси, кераміка,  
вуглець і графіт, дерево]

## Вибір матеріалу

№	Середовище	Рекомендований метал
1	$\text{HNO}_3$	Нержавіюча сталь
2	$\text{NaOH}$	Ni та його сплави
3	$\text{HF}$	Монель (Ni-Cu)
4	$\text{HCl}$	Хастеллой (Ni-Cr-Mo)
5	Розведена $\text{H}_2\text{SO}_4$	свинець

## Вибір матеріалу

№	Середовище	Рекомендований метал
6	Атмосфера	Al
7	Дистильована вода, харчові кислоти	Sn
8	Гарячий розчин сильних окисників	Ti
9	Змінний опір	Ta
10	Концентрована $H_2SO_4$	Сталь

# Легування

- додавання до складу металу компонентів, які підвищують схильність до пасивації, знижують катодну або анодну активність сплаву, запобігають структурній корозії.
- Легуючі домішки поділяють на макро – 5-20 % і мікро – до 3 %.

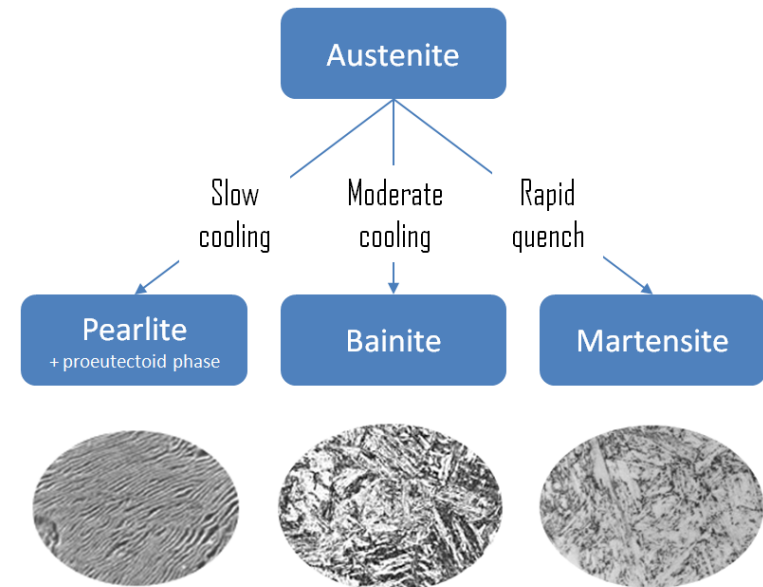
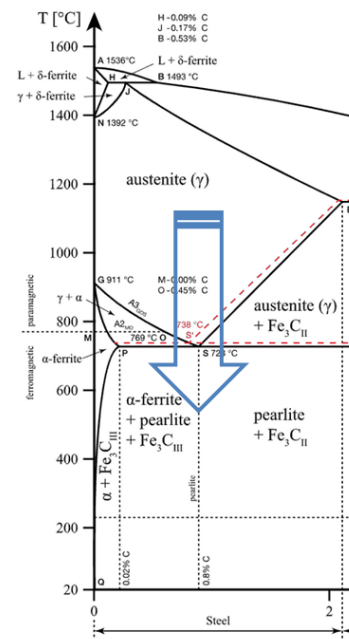
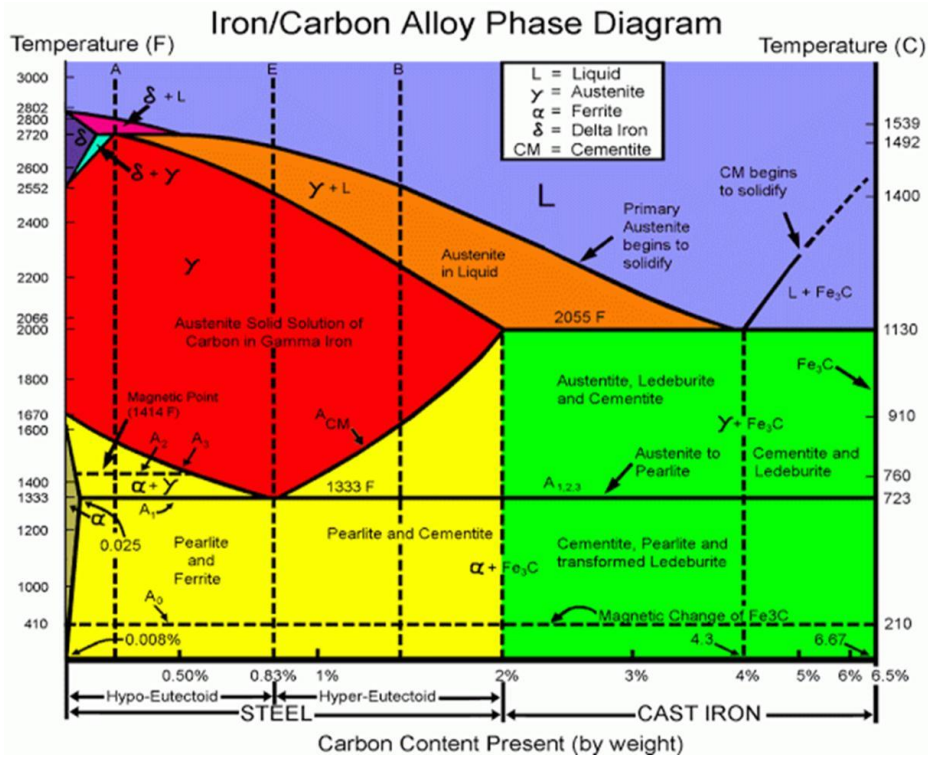
Сталь 20 (Fe-C)



Сталь X18H10T

# Головні легувальні елементи Cr, Ni і C

- Карбон формує структуру сталей



# Легувальні елементи сталей:

## 1. Хром Cr

- Мінімальний вміст 12-14 мас.%
- Хром підвищує здатність нержавіючих сталей (НС) до пасивації.
- Здатність Cr утворювати по межах зерен карбіди є високою, що викликає небезпеку розвитку міжкристалітної корозії.

## Макро-легувальні елементи:

### 2. Нікель Ni

- Додають для одержання аустенітних або дуплексних НС.
- Ці матеріали мають відмінну пластичність і міцність, піддаються зварюванню.
- Ni покращує механічні властивості НС і термостійкість.
- Ni підвищує водостійкість НС.

## Мікро-легувальні елементи:

- **Манган Mn** – аустеніто-твірний елемент, який використовують для заміщення Ni. Вміст Mn у НС 2-3 мас%.
- **Молібден Mo** – ферито-твірний елемент. Підвищує опір **пітинговій корозії**, вміст 2-4 мас%. Покращує механічні властивості НС за високих температур. Підвищує опір до корозії у середовищі кислот-відновників.
- **Вольфрам W** підвищує міцність і твердість мартенситних НС.

## Мікро-легувальні елементи:

- Азот N (до 0.25 мас%) стабілізує аустенітну структуру, підвищує міцність і корозійну стійкість, здатність дуплексної НС до зварювання.
- Ti, Nb і Ta стабілізують НС і знижують схильність до міжкристалітної корозії.
- Cu підвищує корозійну стійкість у середовищі, що містить сульфатну кислоту.
- Si підвищує опір НС пітинговій корозії.

## Обробка поверхні

Полірування поверхні сприяє зниженню швидкості корозії за рахунок зменшення шорсткості і питомої площі.



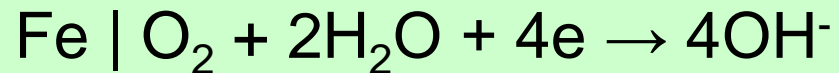
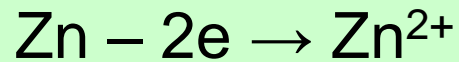


# Захисні покритви

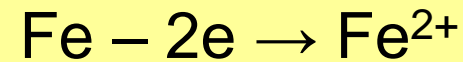
- Забезпечують бар'єр між металом і середовищем або служать протекторами
- Металічні покритви:
  - Бар'єрні (з більшим потенціалом) – Ag, Cu, Ni, Cr, Sn, Pb на сталі. Мають бути безпористими. Порушення суцільності покритву викликає швидке руйнування основи.
  - Протекторні (з меншим потенціалом) – Zn, Al, Mn на сталі. Основа у порах покритву буде катодом.
  - Способи нанесення – гаряча прокатка, напилення, плакування, електроосадження тощо.

# Захисні металеві покриття

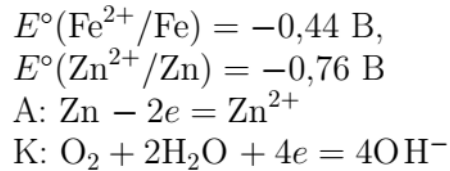
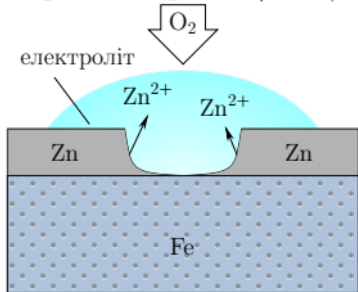
## ■ Анодні (протекторні)



## ■ Катодні (бар'єрні)



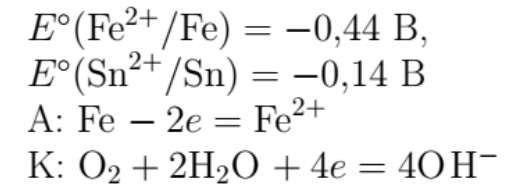
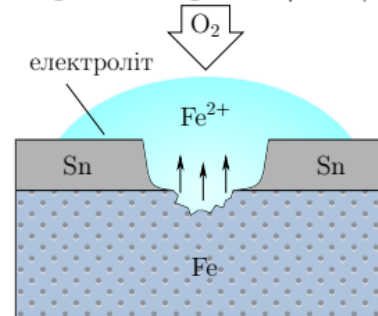
- Корозія пари Fe|Zn (анодне покриття)



- Анодне покриття захищає метал навіть при пошкодженні



- Корозія пари Fe|Sn (катодне покриття)



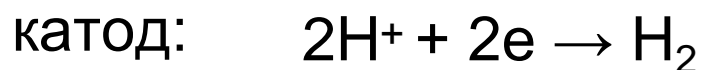
- Пошкоджене покриття не захищає метал від руйнування



- Нанесення неметалевих неорганічних покриттів: цемент, скло, кераміка, конверсійні.

- Конверсійні покритви:

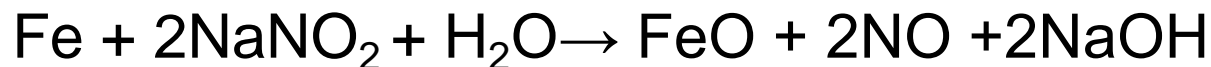
- Анодування (Al в  $H_2SO_4$ )



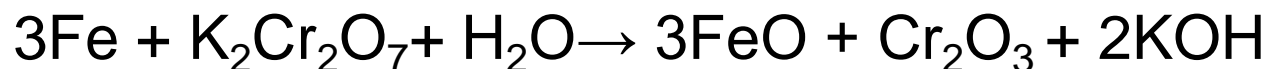
- Фосфатування



- Оксидування



- Хроматування



# Неорганічні покритви

- *Бетонні покритви* використовують для захисту громіздких металевих споруд та підземних комунікацій.
- *Неорганічні емалі* за своїм складом належать до силікатних матеріалів. Емалюванню піддають чорні та кольорові метали, які застосовуються при виробництві апаратури у фармацевтичній, хімічній чи харчовій промисловостях та при виготовленні речей побутового вжитку. Основною вадою силікатних емалей є крихкість та розтріскування під дією теплових і механічних напружень.
- *Оксидні плівки* нарощують на металах, схильних до пасивації (Al, Ti, Fe, Cr).



воронування



оксидування



фосфатування



# Органічні покритви



- **Органічні покритви:** фарби, лаки, полімери.
- Складаються з розчинника (затверджувача), смоли і пігментів.
- Покрив забезпечує бар'єр для середовища, а пігменти є інгібіторами корозії.

A decorative graphic consisting of a thin horizontal line at the top, a thicker horizontal bar below it, and a thin horizontal line at the bottom. A large black left square bracket is on the left side, and a large yellow right square bracket is on the right side. A thin yellow circle is partially visible behind the text.

## Методи впливу на середовище

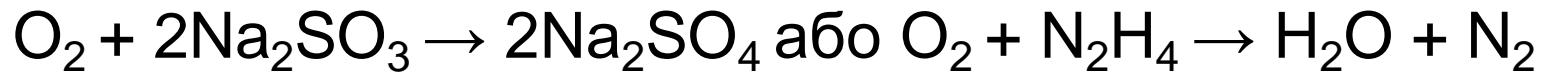
- видалення деполяризатора;
- нейтралізація середовища;
- температура і швидкість руху середовища;
- інгібітори корозії.

[

]

- Видалення кисню (деаерація середовища):

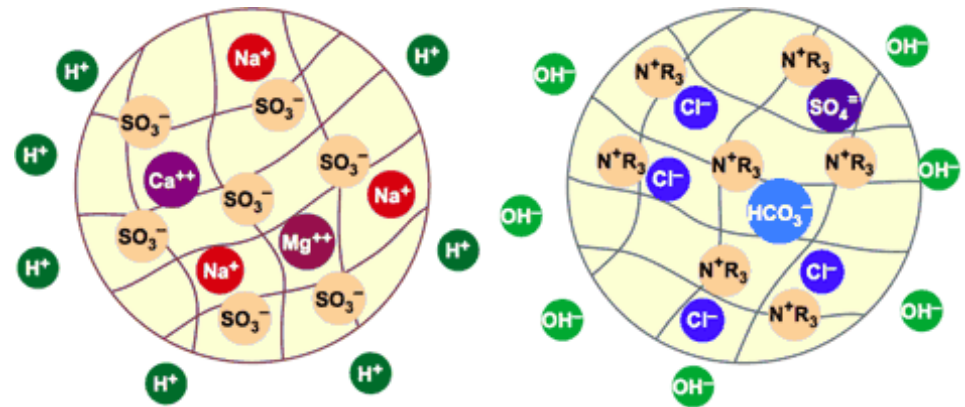
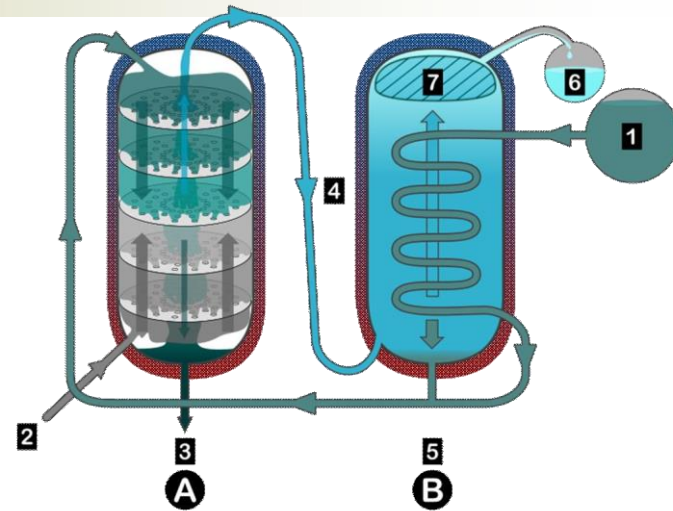
- Реагентний метод



- Продувка інертними газами ( $\text{N}_2$ , Ar) або кип'ятіння.
- Вакуумування.
- Не рекомендується для металів, що пасивуються, оскільки може порушувати оксидний покрив.

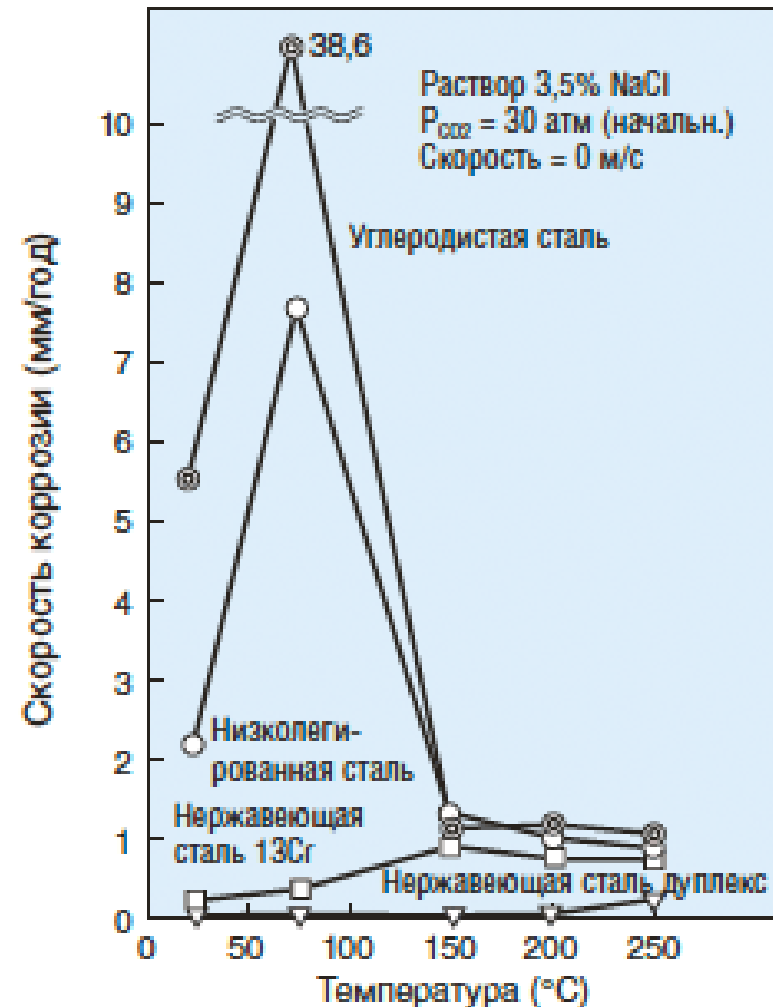
# Нейтралізація середовища

- змінення концентрації  $H^+$  іонів – нейтралізація середовища содою або гашеним вапном.
- видалення активаторів із середовища:
  - Реагентний метод:  
 $2Cl^- + Pb^{2+} \rightarrow PbCl_2$ .
  - Дистиляція.
  - Використання іонообмінних мембран.

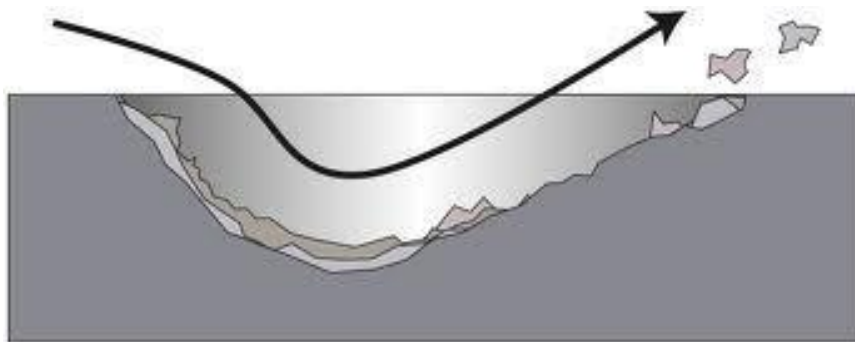


# Вплив температури

- Головний підхід – зниження температури.
- У деяких випадках з ростом температури швидкість корозії падає:
- при випаровуванні електроліту
- або зниженні концентрації кисню.



## Швидкість руху середовища

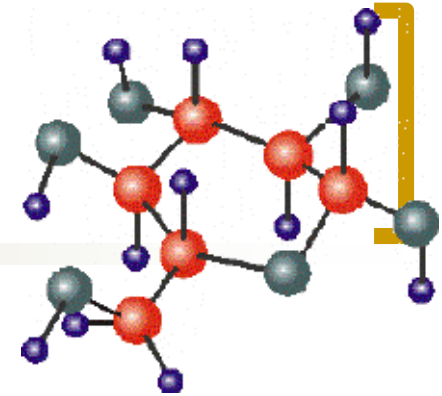


- Зниження швидкості руху агресивного середовища запобігає ерозійному руйнуванню метала і кавітаційній корозії.

# Інгібітори корозії



# Інгібітори корозії

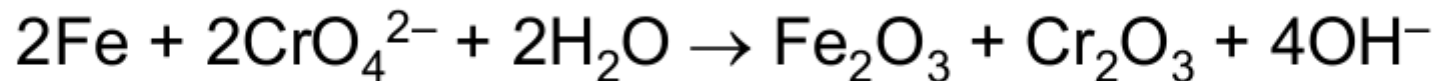


- Додають у малій концентрації до складу середовища або покривів для зниження швидкості корозії за рахунок формування тонких плівок на поверхні метала і зменшення:
  - поверхні анодної реакції;
  - потоку деполяризатора і швидкості катодної реакції.

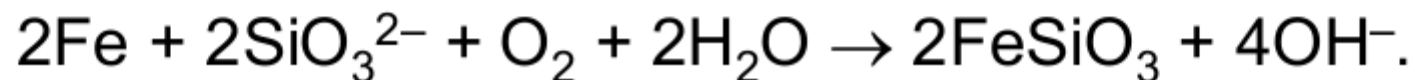
## Пасивуючі неорганічні інгібітори



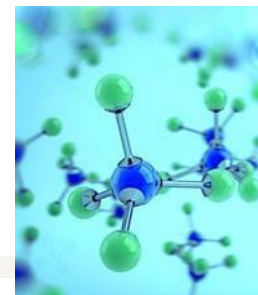
**Окисники:**  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ , утворюють пасивні оксидні плівки на металі за відсутності кисню:



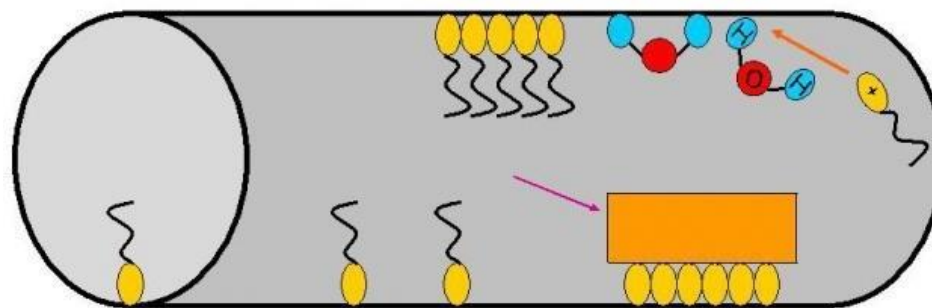
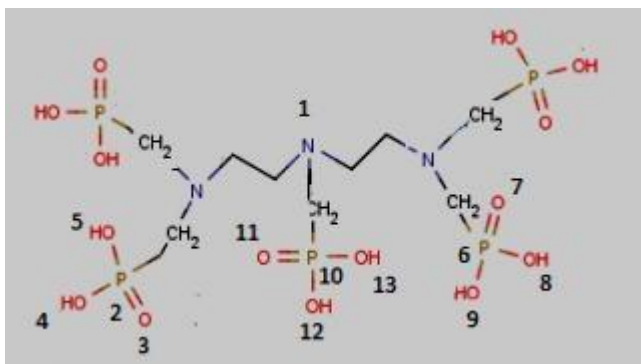
**Неокисники:**  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , потребують присутності кисню для пасивації сталі:



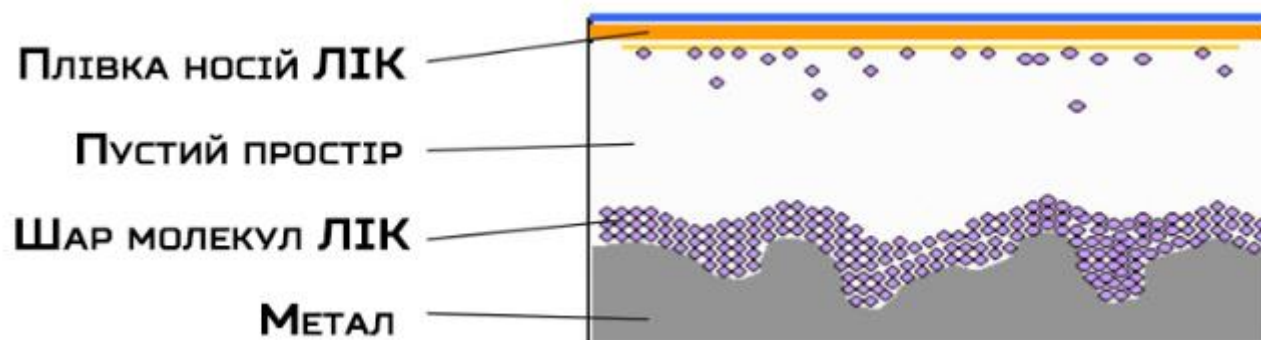
# Органічні інгібітори



- Гальмують анодну і катодну реакції корозійного процесу, однак при достатньо високій концентрації.
- Захищають метал, утворюючи гідрофобну плівку на поверхні, тому їх ефективність залежить від складу, структури і спорідненості до метала.
- На адсорбційну і захисну здатність впливають температура і тиск.



# Леткі інгібітори корозії

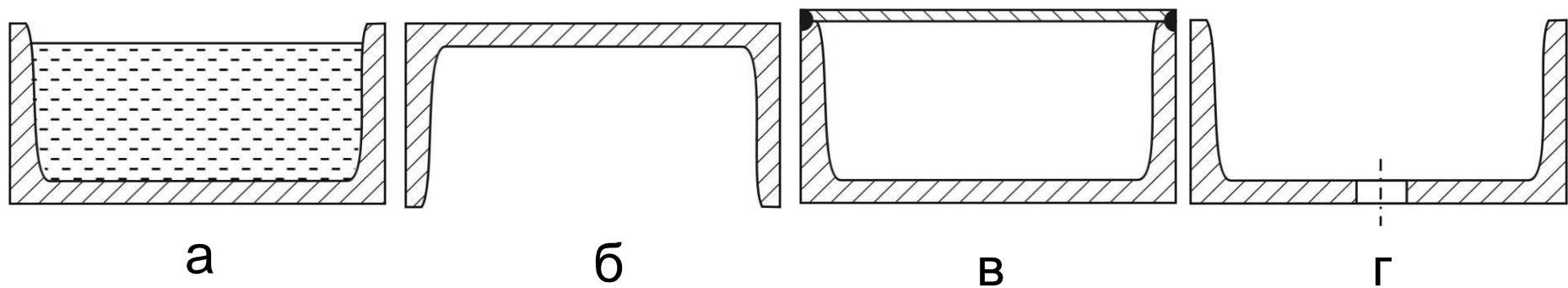


- Леткі інгібітори корозії (Volatile Corrosion Inhibitors VCI) – засоби тимчасового захисту.
- В замкненому середовищі розпилюють органічні основи (гідразин), які запобігають корозії труб шляхом нейтралізації кислотних газів ( $\text{CO}_2$ ) або підвищення рН.

# Раціональне конструювання

- Вибір правильної товщини стінок метала.
- Запобігання дії механічних напруг, що розтягують, в поєднанні з агресивним середовищем.
- Уникати гальванічного контакту різних за активністю металів.
- Уникати гетерогенності поверхні і глибоких зазорів між деталями.

# Раціональне конструювання



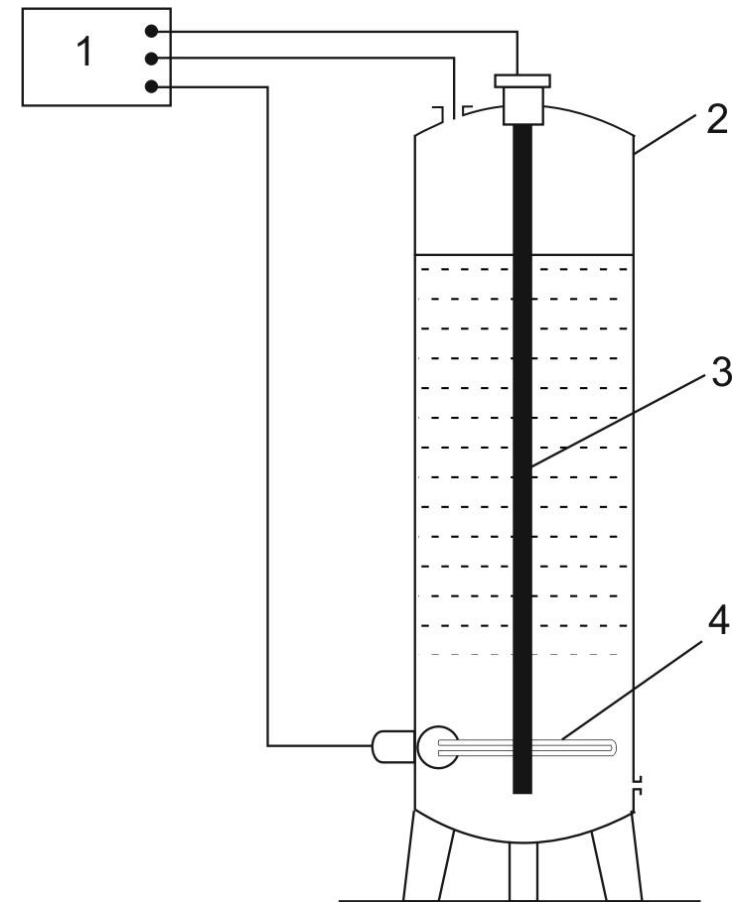
- Накопичення вологи у конструктивних елементах (а) і приклади його усунення за рахунок: ефективного розташування (б), ізоляції від середовища (в) і видалення через дренажні отвори (г).

# Електрохімічний захист



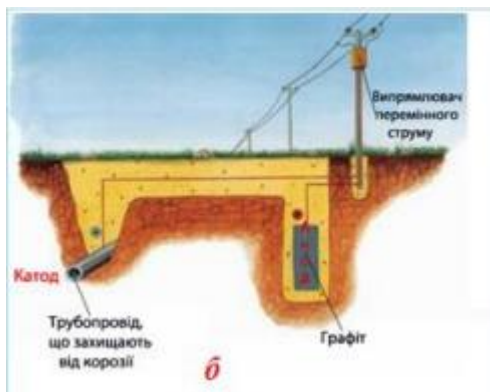
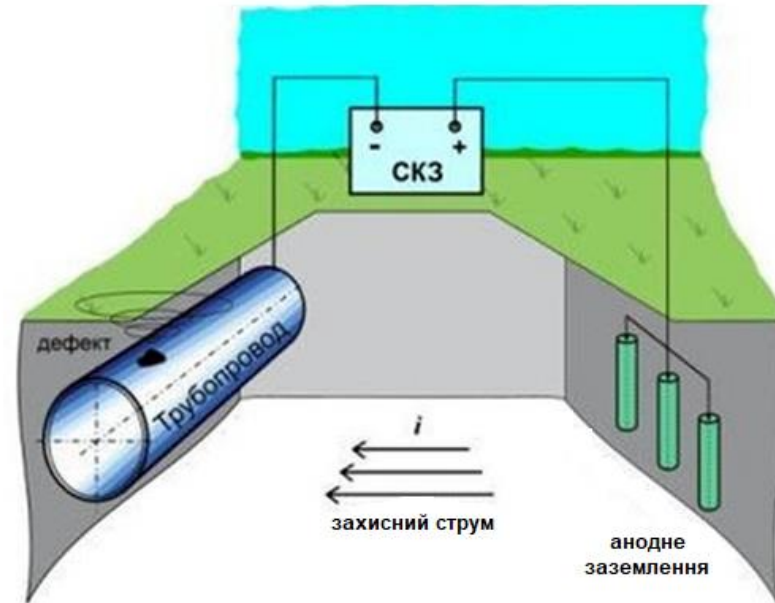
# Анодний захист (АЗ)

- 10 Використовують лише для металів і сплавів, що здатні до пасивації
- 10 Пристрій (2) підключають до позитивного полюсу джерела постійного струму (1), на поверхні металу утворюється оксидний шар і він переходить до пасивного стану.
- 10 3 – катод, 4 – електрод порівняння.
- 10 Для АЗ необхідно застосовувати складне обладнання контролю потенціалу, а також підтримувати сталий склад середовища.



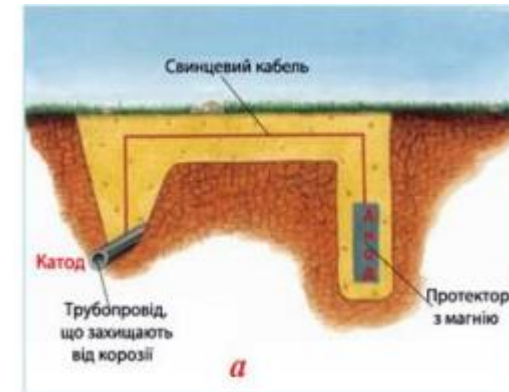
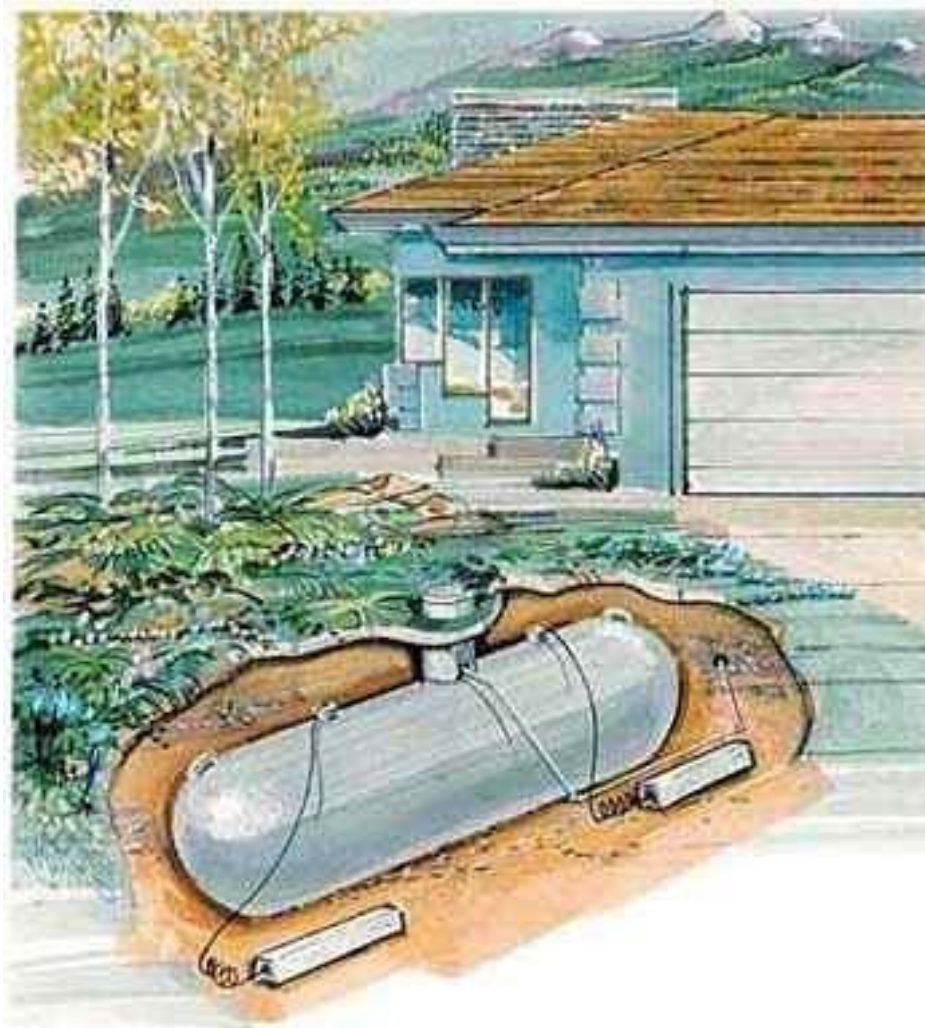
## Катодний захист (КЗ) зовнішнім струмом

- Пристрій підключають до негативного полюсу джерела постійного струму (ДС).
- Позитивний полюс ДС з'єднують з анодом-заземлювачем.



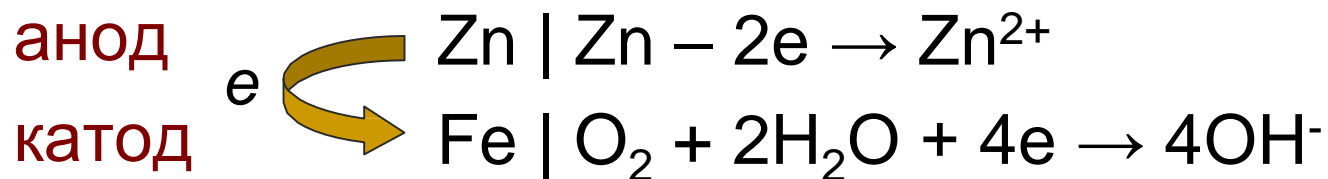
- Реакція на катоді:  
$$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$$
- Реакція на аноді (залізний лом):  
$$\text{Fe} - 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$$

# Катодний захист протектором

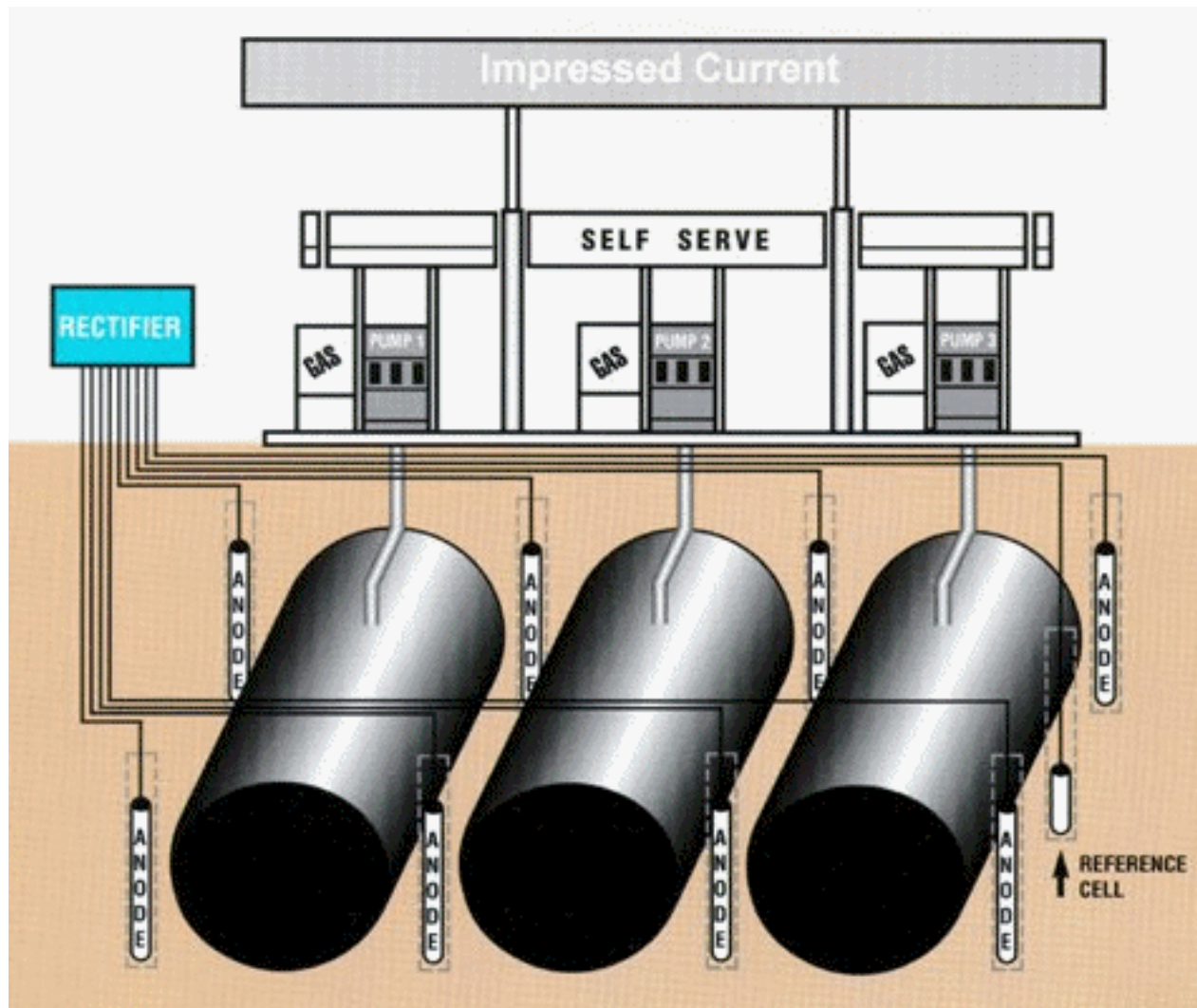


# Протекторний захист

- Пристрій безпосередньо з'єднують з анодом, що виготовлений з більш активного металу
- Аноди (Mg, Al, Zn та їх сплави) масою 300 – 400 кг розташовують на відстані 150 м від пристрою, що захищають, та один від одного.
- реакції:



# Захист підземних смностей



# Комплексний захист

