

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

# Корозія та захист від корозії

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти спеціальностей 131 Прикладна механіка,  
133 – Галузеве машинобудування, 274 – Автомобільний транспорт,  
181 – Харчові технології

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри  
харчових технологій  
*Протокол № 1*  
*від 07.09.2020р.*

Корозія та захист від корозії. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти спеціальностей 131 Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування, 274 – Автомобільний транспорт, 181 – Харчові технології /Укл.: Костенко І. А., Челябієва В. М. – Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2020. – 58 с.

Бібліогр. 19, табл. 12, рис. 50

В методичних вказівках наведені лабораторні роботи щодо різноманітних практичних аспектів протикорозійного захисту машин, механізмів та металоконструкцій. Приводяться завдання до розрахунково-графічної роботи з дисципліни “ Корозія та захист від корозії ”. Наведено довідковий матеріал необхідний для успішного виконання робіт.

Укладачі: КОСТЕНКО ІГОР АНДРІЙОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій,  
ЧЕЛЯБІЄВА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри харчових технологій

Відповідальний за випуск: ХРЕБТАНЬ ОЛЕНА БОРИСІВНА, завідувач  
кафедри харчових технологій кандидат технічних  
наук

Рецензент: БУЯЛЬСЬКА НАТАЛІЯ ПАВЛІВНА, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій, Національного університету  
«Чернігівська політехніка»

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	4
ВСТУП.....	5
<b>1 Лабораторна робота №1</b> ВОЛЮМОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В КИСЛИХ СЕРЕДОВИЩАХ.....	6
<b>2 Лабораторна робота №2</b> ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ ЗА ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ОПОРОМ НА КОРОЗИМЕТРІ Р-503.....	10
<b>3 Лабораторна робота №3</b> ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБОРОТНОГО ЕЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ.....	16
<b>4 Лабораторна робота №4</b> ГРАВІМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРНОГО ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ.....	20
<b>5 Лабораторна робота №5</b> ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРНОГО ЗАХИСТУ .....	24
<b>6 Лабораторна робота №6</b> ДІАГНОСТИКА КОРОЗІЙНОЇ ТРИВКОСТІ СТАЛІ. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТЕКТОРНОГО ЗАХИСТУ .....	29
<b>7 Лабораторна робота №7</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МАЛОЦИКЛОВОЇ КОРОЗІЙНОЇ ТА ВОДНЕВОЇ ВТОМИ СТАЛІ.....	34
<b>Завдання до виконання РГР.....</b>	38
<b>Рекомендована література.....</b>	55
<b>ДОДАТОК Основні поняття та визначення.....</b>	56

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЗ	захисний анодний заземлювач
ВЕ	водневий електрод
ВЛ	високовольтна лінія
ЕП	електрод порівняння
ЕРС	електрорушійна сила
Ін	інгібітор корозії
КС	корозійна стійкість
МА	мікроанод
МК	мікрокатод
МКК	міжкристалітна корозія
МЦВВ	малоциклова воднева втома
МЦКВ	малоциклова корозійна втома
ПАР	поверхнево-активні речовини
РЕ	робочий електрод
СКЗ	станція катодного захисту
ХСЕ	хлорид-срібний електрод

## ВСТУП

Виходячи із задачі підвищення рівня підготовки фахівців, які мають справи з металами та їх сплавами, їхньою обробкою і використанням як конструкційних матеріалів, логічно витікає необхідність засвоєння такого найважливішого напрямку, як корозія й захист металів від корозії. Тому ця методична розробка призначена для допомоги студентам під час організації самостійного опрацювання курсу “Корозія та захист від корозії”. Вона сприяє поліпшити орієнтацію в новому матеріалі, надати необхідний напрям роботі здобувачів вищої освіти над засвоєнням курсу, зменшити непродуктивні витрати часу при підготовці до занять та при пошуках навчальної та методичної літератури.

Корозією зветься самодовільне руйнування металів і металевих виробів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з оточуючим середовищем. У системі міжнародної стандартизації існує більш широке трактування цього процесу: корозією зветься фізико-хімічна взаємодія між металом та оточуючим середовищем, внаслідок якої змінюються властивості металевого матеріалу і відбувається погіршення функціональних характеристик металу або технічної системи, до складу якої входить метал чи сплав на основі цього металу.

До корозії не відносять бажане руйнування металів внаслідок їх розчинення в кислотах та інших хімічних агентах, механічний знос металів тощо.

Зміна в будь-якій частині корозійної системи, яка викликана корозією, зветься корозійним ефектом. Ефект ушкодження, пов'язаний з втратою механічної міцності металу, визначають поняттям – корозійне руйнування; його глибину за одиницю часу – швидкістю корозійного руйнування.

Здатність металів опиратися корозійній дії оточуючого середовища зветься корозійною стійкістю (КС). Корозійну стійкість відображають якісно і кількісно – швидкістю корозії в даних експлуатаційних умовах або балом (групою) стійкості за прийнятою шкалою.

Оцінювати корозійну стійкість металу в треба обов'язково в конкретних умовах експлуатації, для чого проводять серію експериментів, з допомогою яких кількісно оцінюють як умови оточуючого середовища, так і швидкість корозійного процесу за прямими або непрямими показниками.

Ознайомлення майбутніх інженерів з найпоширенішими методами корозійних досліджень є метою проведення лабораторного практикуму з цієї дисципліни. Наведені лабораторні роботи дають уяви про основні механізми корозійних руйнувань, вплив зовнішніх чинників на характер і швидкість корозії, методи дослідження корозійних процесів.

## Лабораторна робота №1

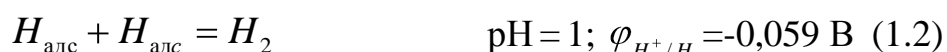
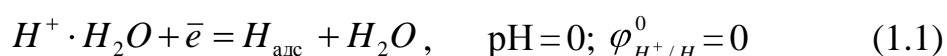
### ВОЛЮМОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В КИСЛИХ СЕРЕДОВИЩАХ

**1.1 Мета роботи:** оцінити корозійну стійкість та ефективність захисту металів та сплавів у розчинах кислот волюмометричним методом дослідження.

#### 1.2 Короткі теоретичні відомості

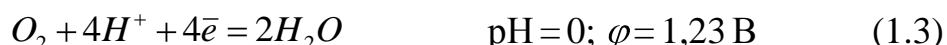
Корозія металів у кислотах з неокислювальним аніоном (HCl, розведена H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) протікає переважно з водневою деполяризацією (H<sup>+</sup>).

Катодний процес (при pH<7) відбувається здебільшого за схемою:

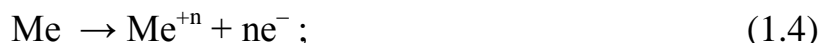


Супутнім процесом є процес водневої оклюзії (наводнювання).

Але можливе і часткове протікання процесу кисневої деполяризації (аерований розчин електроліту pH<7):



Анодний процес при pH<7 в загальному виді виглядає так:



В дійсності він багатостадійний, як і катодний процес.

Об'ємний (волюмометричний) метод дослідження швидкості корозії металів ґрунтується на тому, що при переході металу в продукти корозії виділяється еквівалентна кількість водню (процес з водневою деполяризацією) або поглинається кисень, розчинений в електроліті (процес кисневої деполяризації). За обсягом виділеного водню (або поглиненого кисню), вимірюваного за допомогою встановленого над зразком евдіометра (рисунок 1.1), можна обчислити втрати маси металу.

Швидкість процесу корозії металів та сплавів оцінюють за декількома показниками.

**Об'ємний:**  $K_{H_2}, \frac{\text{см}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$

$$K_{H_2} = \frac{V_0}{S \cdot \tau}, \quad (1.6)$$

де V<sub>0</sub> - об'єм водню, який виділився в результаті корозії приведений до

нормальних умов, см<sup>3</sup>;

S – площа зразка металу, см<sup>2</sup>;

τ – час корозії, год.

З урахуванням тиску насиченої водяної пари (таблиця 1.1):

$$V_0 = \frac{(P - P_{H_2O}) \cdot V \cdot 273}{760 \cdot T}, \text{ см}^3 \quad (1.7)$$

де P – атмосферний тиск при якому проводили дослідження, мм рт. ст.;  
P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> – тиск насиченої водяної пари при температурі експерименту, мм рт. ст.;  
V – об'єм водню, який виділився за час експерименту, см<sup>3</sup>; T – температура повітря, К.

**Масовий показник корозії:**  $K_m, \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{год}}$  можна обчислити за формулою:

$$K_m = \frac{A \cdot V_0}{11,2 \cdot n \cdot S \cdot \tau}, \quad (1.8)$$

**Глибинний показник:**  $K_{II}, \text{ мм/рік}$ .

$$K_{II} = \frac{K_{H_2} \cdot A \cdot 7,8113}{n \cdot \rho_{Me}} \quad (1.9)$$

де A – атомна маса металу, A = 55,85 – для вуглецевої сталі;

n – заряд йону, що утворюється: для Fe<sup>2+</sup> n = 2;

ρ<sub>Me</sub> – густина металу, г/см<sup>3</sup> (ρ<sub>Fe</sub> = 7,85 г/см<sup>3</sup>).

Таблиця 1.1 – Тиск насиченої водяної пари

T, К	283	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297
P <sub>H<sub>2</sub>O</sub> , мм. рт. ст.	9,21	12,79	13,63	14,53	15,48	16,48	17,53	18,65	19,83	21,09	22,38

Для характеристики корозійної стійкості (КС) конструкцій в США Національна асоціація інженерів-корозіоністів (National Association of Corrosion Engineers (NACE) International) використовує 5 бальну шкалу КС (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – П'ятибальна шкала КС

Бал	Швидкість корозії, мм/рік	Група стійкості
1	<0,1	Дуже стійкі
2	0,1 – 1,0	Стійкі
3	1,1 – 3,0	Зниженої стійкості
4	3,1 – 10,0	Малостійкі
5	>10,1	Нестійкі

На теренах СНГ використовують 10 бальну шкалу КС (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 - Десятибальна шкала корозійної стійкості металів

Група стійкості	Швидкість корозії, мм/рік	Бали
Повністю стійкі	< 0,001	1
Дуже стійкі	> 0,001 до 0,005	2
	> 0,005 до 0,01	3
Стійкі	> 0,01 до 0,05	4
	> 0,05 до 0,1	5
Зниженої стійкості	> 0,1 до 0,5	6
	> 0,5 до 1,0	7
Малостійкі	> 1,0 до 5,0	8
	> 5,0 до 10,0	9
Нестійкі	> 10,0	10

**Струмний показник:**  $i_{H_2}$ , А/см<sup>2</sup>.

$$i_{H_2} = K_{H_2} \cdot 2,3896 \cdot 10^{-3} \quad (1.10)$$

**Коефіцієнт гальмування швидкості корозії:**

$$\gamma = \frac{i_{H_2}}{i'_{H_2}} \quad (1.11)$$

де  $i_{H_2}$  - струмний показник швидкості корозії без інгібітора;  $i'_{H_2}$  - струмний показник з використанням інгібітора корозії.

**Ступінь інгібіторного захисту:** %.

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100\% \quad (1.12)$$

### 1.3 Експериментальна частина

1. Проводиться механічна підготовка зразків (зразки за вказівкою викладача), їх знежирення в спирті чи інших розчинах. При необхідності проводять додатково електрохімічну обробку. Аналогічно відбувається підготовка зразків для досліджень і в інших лабораторних роботах.

2. Проводиться вимір площі зразка.

3. Зразки переносять до евідіметрів з розчинами кислот різної концентрації (без інгібітору та з інгібітором) – за завданням викладача.

4. Протягом певного часу реєструють виділення водню внаслідок катодного процесу з водневою деполяризацією (через кожні 10-15 хв.).

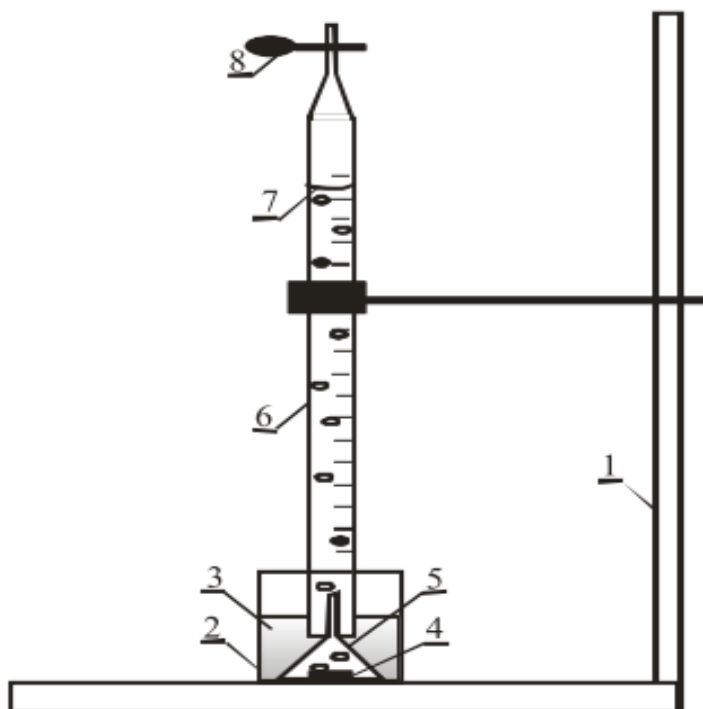
5. Під час досліду визначають окремі параметри мікроклімату



приміщення (температура, тиск), необхідні для подальших обрахунків.

6. Проводять обрахунки швидкості процесу корозії за формулами 1.6 - 1.12.

7. Отримані результати розрахунків вносять у таблицю 1.4.



1 – штатив; 2 – стакан; 3 – розчин кислоти; 4 – металевий зразок; 5 – лійка;  
6 – бюретка; 7 – меніск розчину кислоти; 8 – затискач

Рисунок 1.1 – Схема устаткування для дослідження кінетики електрохімічної корозії з водневою деполаризацією.

Таблиця 1.4 – Результати експерименту та розрахунків

№ <sub>пп</sub>	Кислота (концентрація, наявність інгібітору)	Трива- лість дослід- у, хв.	$V_{H_2}$ , см <sup>3</sup>	$K_{H_2}$ , см <sup>3</sup> /см <sup>2</sup>	$K_m$ , г/(м <sup>2</sup> ·год.)	$K_{П}$ , мм/рік	$i_{с}$ , А/см <sup>2</sup>	Бал корозійної стійкості

7. За даними таблиці 1.4 будують графіки кінетики кислотної корозії:

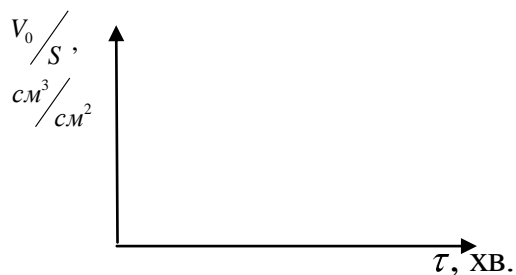


Рисунок 1.2 - Кінетика кислотної корозії  $V_0/S = f(\tau)$

**1.4 Висновки:** експериментально визначено, що корозійна стійкість зразків конструкційного матеріалу у робочих середовищах (...) за такими показниками (...) становить (...), а при наявності інгібітору (...) корозійна стійкість зростає в (...) разів.

#### Контрольні питання

1. З яким видом деполяризації переважно протікає корозія металів у кислотах з неокислювальним аніоном? Які електродні процеси мають місце?
2. Яким небезпечним явищем супроводжується корозія з водневою деполяризацією?
3. Наведіть анодний процес при корозії сталі в кислому середовищі.
4. Поясніть сутність волюмометричного методу дослідження корозійної стійкості металів.
5. Вкажіть особливості устаткування для дослідження кінетики електрохімічної корозії з водневою деполяризацією.
6. Як оцінюється об'ємний показник швидкості корозії?
7. Як визначають масовий показник швидкості корозії?
8. Як розраховують глибинний показник швидкості корозії?
9. Що характеризує струмовий показник швидкості корозії?
10. Які висновки можна зробити за графіками кінетики кислотної корозії?

#### Лабораторна робота №2

### ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ ЗА ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ОПОРОМ НА КОРОЗИМЕТРІ Р-5035

**2.1 Мета роботи:** за величиною поляризаційного опору  $R_p$  визначити швидкість електрохімічної корозії сталі та ефективність інгібіторного захисту.

#### 2.2 Короткі теоретичні відомості

Процес електрохімічної корозії, який виникає внаслідок контакту гетерогенної металічної поверхні з розчином електроліту, супроводжується перетіканням електричного струму від анодних ділянок, контактуючої робочої поверхні, до катодних і від катодних ділянок до анодних в електроліті (рисунок 2.1, 2.2). Пояснюється це початковою різницею катодної і анодної складових.

Позначимо стаціонарні початкові значення потенціалів аноду і катоду до замикання ланцюга через  $\varphi_k^0$  і  $\varphi_a^0$ , а омичний опір системи через  $R$ . При умові, що  $\varphi_k^0 > \varphi_a^0$ , значення корозійного струму ( $I$ ) в момент замикання ланцюга визначається за законом Ома:

$$I = \Delta\varphi / R, \quad (2.1)$$

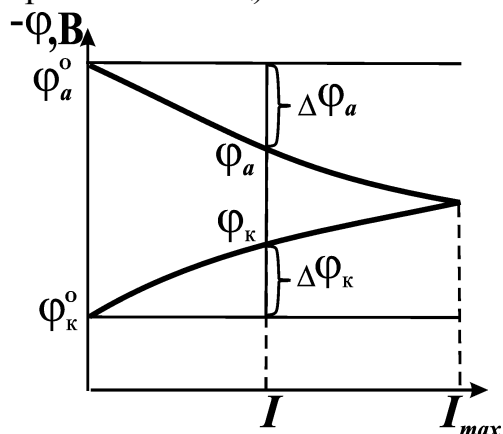
де  $\Delta\varphi$  – різниця потенціалів катоду і аноду корозійної пари;

R – омичний опір системи.

Однак, якщо замість  $\Delta\varphi$  підставити у (2.1):

$$\Delta\varphi = \varphi_{\kappa}^0 - \varphi_a^0, \quad (2.2)$$

то ми не одержимо вірного значення швидкості корозії, в дійсності "I" буде меншим за рахунок **поляризації** – зміщення потенціалу катоду в негативний бік, а потенціалу аноду в позитивний бік, тобто їх зближення (рисунок 2.1). Величини, на яку зміщуються потенціали катоду і аноду ( $\Delta\varphi_{\kappa}$  і  $\Delta\varphi_a$ ) називаються відповідно катодною і анодною поляризацією (поняття вперше ввів Ленц).



$$\varphi_{\kappa} = \varphi_{\kappa}^0 - \Delta\varphi_{\kappa} \quad (2.3)$$

$$\varphi_a = \varphi_a^0 + \Delta\varphi_a \quad (2.4)$$

Звідси:

$$\Delta\varphi_a = \varphi_a - \varphi_a^0 \quad (2.5)$$

$$\Delta\varphi_{\kappa} = \varphi_{\kappa}^0 - \varphi_{\kappa} \quad (2.6)$$

Рисунок 2.1 - Поляризаційна діаграма

Сутність явища поляризації зводиться до того, що перехід електронів з аноду на катод відбувається швидше, ніж електродні реакції. При анодному процесі швидкість переходу йонів  $Me^{n+}$  з анодної ділянки в розчин з утворенням  $Me^{n+} \cdot H_2O$  (рисунок 2.2) відстає від швидкості перетікання електронів (e) з анодної ділянки в катодну.

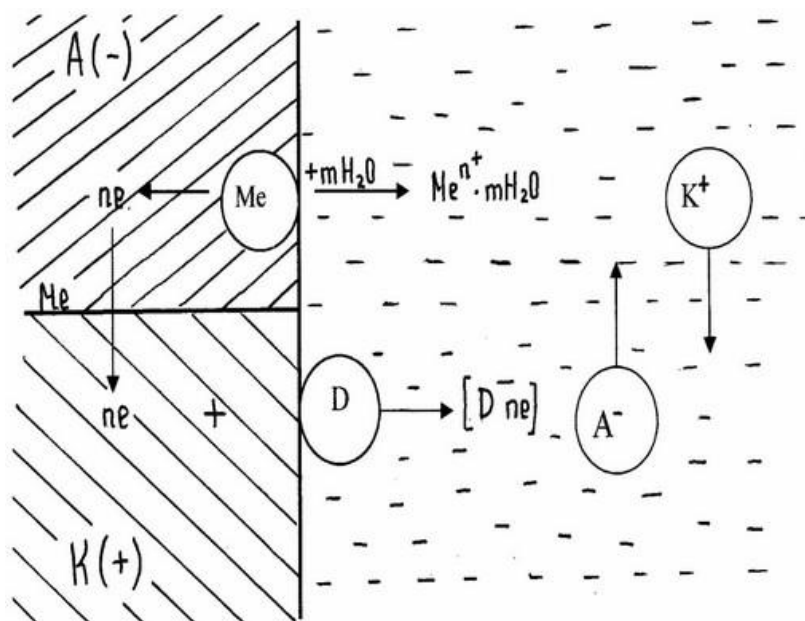


Рисунок 2.2 – Схема електрохімічної корозії на поверхні металу

Внаслідок цього біля анодної ділянки накопичується надлишок катіонів  $Me^{n+}$  і потенціал аноду зміщується в позитивний бік. При катодному процесі на катоді накопичується надлишок електронів, тому що катодні деполаризатори (D) не встигають з'єднуватися з електронами, які накопичуються в катодній ділянці, і потенціал катоду зсувається в негативний бік. Явище поляризації в процесах електрохімічної корозії є позитивним, тому що воно в сотні разів зменшує швидкість корозії.

Явище поляризації пояснюється тим, що рух електронів в металічній частині елементу і йонів в розчині зазнає на своєму шляху певні опори. Частина цих опорів зв'язана з труднощами, які виникають при проходженні електрону через кристалічну решітку металу або йонів через розчин, які називаються омичними (R), незначно впливає на зменшення корозійного струму мікропар, оскільки вона невелика. Велике значення мають, так звані, поляризаційні опори (P), зв'язані з неможливістю миттєвої асиміляції електронів катодними деполаризаторами і переходу позитивних йонів металу із металічної решітки в розчин.

Поляризаційні опори знижують швидкість корозійних процесів у багато разів. Не будь їх, багато металів кородували б з такою швидкістю, що втратили б своє технічне значення.

Зменшення здатності до поляризації електродів називається деполаризацією. Деполаризація збільшує швидкість корозійних процесів. Речовини і фактори, які зменшують поляризацію електродів корозійного елементу називаються деполаризаторами.

За величиною поляризаційного опору можна визначити швидкість корозії конструкційного матеріалу за певних умов, а також ефективність його захисту від корозії за допомогою тих або інших речовин (інгібіторів).

## 2.3 Експериментальна частина

Вимірювання  $R_p$  проводять на корозиметрі P-5035 (рисунок 2.3). Цей прилад призначений для визначення швидкості електрохімічної корозії металів у кислих середовищах шляхом виміру опору поляризації двохелектродного датчика на постійному струмі з одночасною компенсацією опору розчину на змінному струмі і початкової ЕРС на постійному струмі.

Він має переваги перед гравіметричним методом дослідження корозії, бо різко скорочує час виміру. Це експрес метод корозійних випробувань, який дуже підвищує продуктивність праці.

Вимірник застосовується при температурі 10...35°C (при підвищеній вологості повітря (~80%) – при  $T = 20^\circ C$ ).

### 2.3.1 Технічні характеристики P-5035

- Діапазон вимірювання опору поляризації 5...5000 Ом.
- Діапазон компенсації опору розчину 0...2000 Ом.
- Межа компенсації початкової ЕРС корозійного датчика  $0 \pm 30$  мВ.
- Піддіапазони вимірювання  $R_p$  : 5...50, 50...500, 500...5000 Ом.
- Піддіапазони компенсації опору розчину: 0...20, 0...200, 0...2000 Ом.

**Сутність методу** полягає в тому, що  $R_p$  обернено пропорційно швидкості корозії. Тому, якщо відома постійна "К", то:

$$I_c = K/R_{p(\text{сеп})}, \text{ мм/рік} \quad (2.7)$$

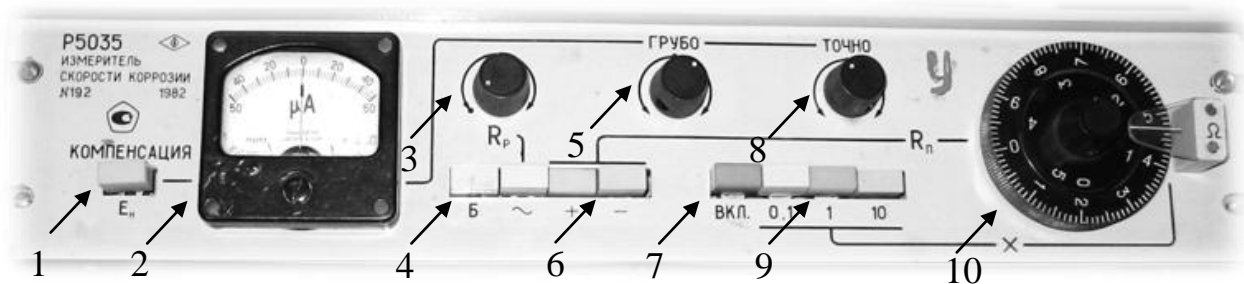
**Для P-5035:  $K_1=272, S=0,80 \text{ см}^2$ ;  $K_2=1170, S=3,84 \text{ см}^2$ ; (сталь 3).**

Величина опору розчину не повинна перевищувати 40% від  $R_p$ , а ємність подвійного шару границі розділу „електрод-електроліт” повинна бути  $\geq 50$  мкФ. Похибка визначення  $R_p$  складає  $\pm 5\%$ .

### **2.3.2 Порядок виконання роботи**

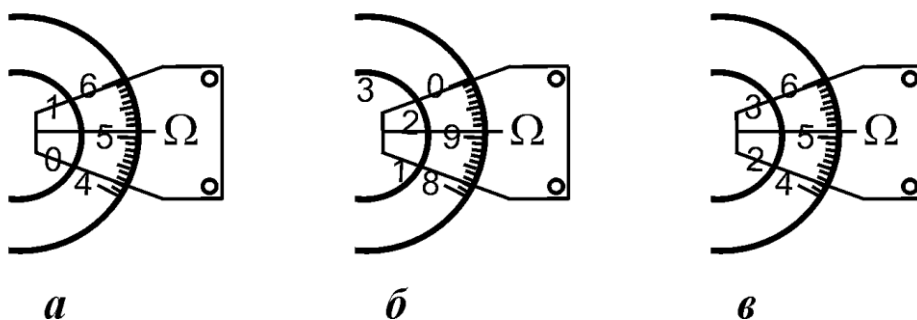
- Підготувати робочу поверхню електродів корозійного датчика: відполірувати її абразивним папером та знежирити спиртом або ацетоном;
- Неробочі поверхні та міста кріплення корозійного датчика треба заізолювати кислотостійким лаком (всю поверхню датчика, яка торкається робочого розчину, крім паралельно спрямованих один до одного електродів, які розташовані на поверхні датчика протилежній до місця його з'єднання з кабелями) ;
- Перевести тумблер "max", "min" в положення "max" та підключити корозійний датчик за допомогою кабелю. З'єднати провід кабелю, який позначено "⏏" із загальним заземленням робочого місця. Заземлення не повинно бути зв'язаним з електродами датчика через розчин!
- Встановити лімби потенціометрів "Компенсація  $E_H$ ", "Грубо", "Точно" в середнє положення. Кнопка " $E_H$ " повинна бути у відтиснутому стані. Помістити датчик у робочий розчин (**робочий розчині умови проведення експерименту вказує викладач**);
- Після ввімкнення приладу (кнопка "ВКЛ") і його прогріву 1 хв, увімкнути перший піддіапазон вимірювання (кнопка "0,1");
- Провести компенсацію опору розчину  $R_{\text{розч.}}$  (кнопка "˜"), повертаючи лімб „ $R_p$ ” встановити на "0" показник „нуль-індикатора”; якщо "0" не встановлюється, перейти на іншу границю виміру (кнопка "1");
- Провести компенсацію початкової ЕРС корозійного датчика (кнопки "+" або "-" в залежності від поляризації об'єкту позитивною або негативною напругою постійного струму). Натиснути кнопку " $E_H$ " і за допомогою лімбів "Грубо", "Точно" встановити "0" показника за “нуль-індикатором”;
- Провести вимірювання  $R_p$ , для чого повернути кнопку "Компенс.  $E_H$ " у вихідне положення (повторно її натиснувши). Повертаючи лімб " $R_p$ " встановити "0" за „нуль-індикатором”. Далі натиснути кнопку "Компенс.  $E_H$ " і переконатися, що стрілка „нуль-індикатора” знаходиться на "0";

- Провести перший відлік вимірюваного поляризаційного опору  $R_p$  через 5 хв за відліковим пристроєм " $R_p, \Omega$ " з врахуванням множників піддіапазонів "0,1", "1", "10" (рисунок 2.4). Оцифровані поділки від "1" до "5" на малому лімбі – сотні одиниць  $R_p$ , а на великому лімбі (від "0" до "9") – десятки та одиниці  $R_p$ ;
- Повторити виміри  $R_p$  (лімб " $R_p, \Omega$ ") через 10 хв. протягом 60-90 хв. Кожен вимір  $R_p$  повторити тричі;
- Провести аналогічно вимірювання  $R_p$  за інших умов (рН, Т і т.і.) – вказує викладач;
- Після закінчення вимірів вимкнути корозиметр (кнопка "ВКЛ"). Промити електроди, знежирити їх та скласти до ексикатора;
- Розрахувати  $R_{p(сер)}$ ;



1 – кнопка компенсації  $E_H$ ; 2 – „нуль-індикатор”; 3 – потенціометр компенсації опору розчину  $R_{розч.} - „R_p”$ ; 4 – кнопка перевірки живлення; 5 – потенціометри компенсації початкової ЕРС корозійного датчика  $E_H$ : "Грубо"; 6 – вибір полярності; 7– кнопка увімкнення живлення – "ВКЛ"; 8 – потенціометри компенсації початкової ЕРС корозійного датчика  $E_H$ : "Грубо", "Точно"; 9-перемикання діапазонів вимірювання "0,1", "1", "10"; 10 – відрахунковий пристрій  $R_p - "R_p, \Omega"$

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд вимірника корозії Р-5035



*а* – піддіапазон "0,1",  $R_p=0,1 \cdot 51 = 5,1 \text{ Ом}$ ;  
*б* – піддіапазон "1",  $R_p = 1 \cdot 191 = 191 \text{ Ом}$ ;  
*в* – піддіапазон "10",  $R_p=10 \cdot 251=2510 \text{ Ом}$ .

Рисунок 2.4 - Схема відрахунку

### 2.3.3 Обробка результатів експерименту

- За формулою (2.7) розрахувати струм корозії  $I_c$ ;
- Скласти таблицю даних (таблиця 2.1):

Таблиця 2.1 – Результати експериментів

Робочий розчин	pH	$C_{In}$ , моль/л	T, К	$R_p$ , Ом	$I_c$ , мм/рік
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		–			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + інгібітор					

- Якщо необхідно в залежності від умов проведення експерименту побудувати графіки залежності  $R_p = f(C_{In})$ ,  $R_p = f(pH)$  тощо і зробіть відповідні висновки (рисунок 2.5 – 2.6).

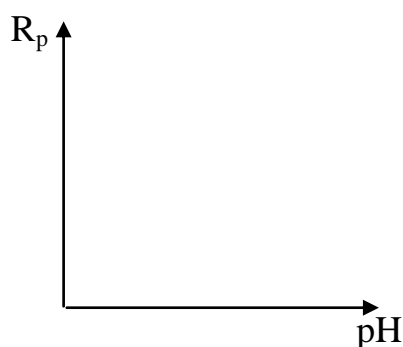


Рисунок 2.5 – Залежність  $R_p = f(pH)$

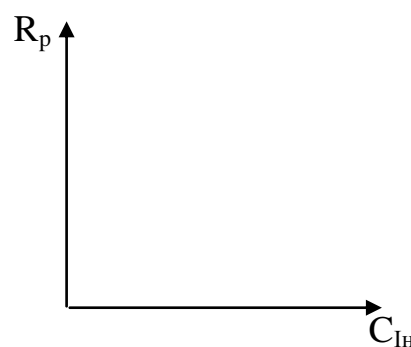


Рисунок 2.6 – Залежність  $R_p = f(C_{In})$

**2.4 Висновки:** експериментально визначена величина поляризаційного опору та швидкість корозії сталі 3 в кислоті (...) з pH(...), за наявності та відсутності (...) інгібітора, а також досліджений характер зміни поляризаційного опору сталі 3 в залежності від pH (0...2) досліджуваного розчину, T (20,25,30,35°C), концентрації In (0,1...1 г/л) – *вказати лише потрібне, те що виконувалось в експериментальній частині.*

#### Контрольні питання

1. Що таке поляризація?
2. Сутність явища поляризації.
3. Що таке поляризаційний опір?
4. Який зв'язок між струмом корозії і поляризаційним опором?
5. Чи можна визначити швидкість хімічної корозії за допомогою корозиметра Р-5035?
6. Що таке поляризуємість?
7. Чи можна розрахувати  $\varphi_k$  і  $\varphi_a$ , якщо вони є необоротні? Як їх визначають?
8. Які позитивні наслідки від поляризації?
9. Поляризація аноду і катоду сухих гальванічних елементів, дає позитивні чи

негативні наслідки?

10. За допомогою чого можна зменшити поляризацію електродів гальванічного елементу?

### Лабораторна робота №3

## ВИЗНАЧЕННЯ ОБОРОТНОГО ТА НЕОБОРОТНОГО ЕЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МЕТАЛІВ, СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ

**3.1 Мета роботи:** виміряти оборотний потенціал металів та порівняти його значення з розрахунковим, визначити необоротний потенціал металів, сплавів або сталей, вивчити вплив на нього поверхнево-активних речовин.

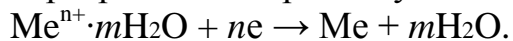
### 3.2 Короткі теоретичні відомості

При зануренні металу в електроліт у результаті взаємодії його поверхні з розчином виникає різниця електричних потенціалів, яку називають електродним потенціалом. Якщо у взаємодії металу й електроліту беруть участь тільки йони металу, то відбуваються наступні процеси:

➤ перехід іонів з металу в розчин з утворенням гідратованих іонів металу (анодний процес):



➤ розряд іонів з розчину на поверхні металу (катодний процес):



Після досягнення рівноваги:



встановлюється стале значення потенціалу металу, який зветься рівноважним або оборотним. Це значення можна розрахувати за рівнянням Нернста:

$$E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg C_{\text{Me}^{n+}}, \quad (3.1)$$

де  $E^0$  – стандартний електродний потенціал (таблиця 3.1), В;  $R$  – універсальна газова стала, 8,31 Дж/(К·моль);  $T$  – абсолютна температура, К;  $n$  – число електронів, які віддає або приймає метал під час електродної реакції;  $F$  – число Фарадея, 96 500 Кл;  $C_{\text{Me}^{n+}}$  – концентрація досліджуваного розчину солі металу, в який занурено електрод.

Рівняння Нернста (3.1) дозволяє визначити величину потенціалу металу, зануреного в розчин власних іонів. У цьому випадку (рисунок 3.1 а) відбувається обмін йонами між металом і розчином ( $\text{Me} \leftrightarrow \text{Me}^{z+} + z\bar{e}$ ), причому швидкість переходу в прямому і зворотному напрямках рівні між собою.

Тобто, якщо метал занурений у розчин власних іонів, встановлюється оборотне (рівноважне) значення потенціалу, коли прямий і зворотний процеси забезпечуються переміщенням через границю метал – розчин, тільки одного сорту іонів – іонів металу (рисунок 3.1 а). У цьому випадку не спостерігається втрат металу ( $\Delta m = 0$ ), тобто корозія.



У реальних умовах, коли метал кородує, процес обміну йонами не здійснюється тільки одним сортом йонів (рисунок 3.1 б). При цьому анодний процес забезпечується в основному йонами металу, а катодний – йонами водню. Потенціал, який встановився при цьому, не змінюється в часі і називається необоротним або стаціонарним. При такому значенні потенціалу зберігається рівність анодних і катодних струмів:  $I_{Me_a} + I_{H_a^+} = I_{Me_k} + I_{H_k^+}$ .

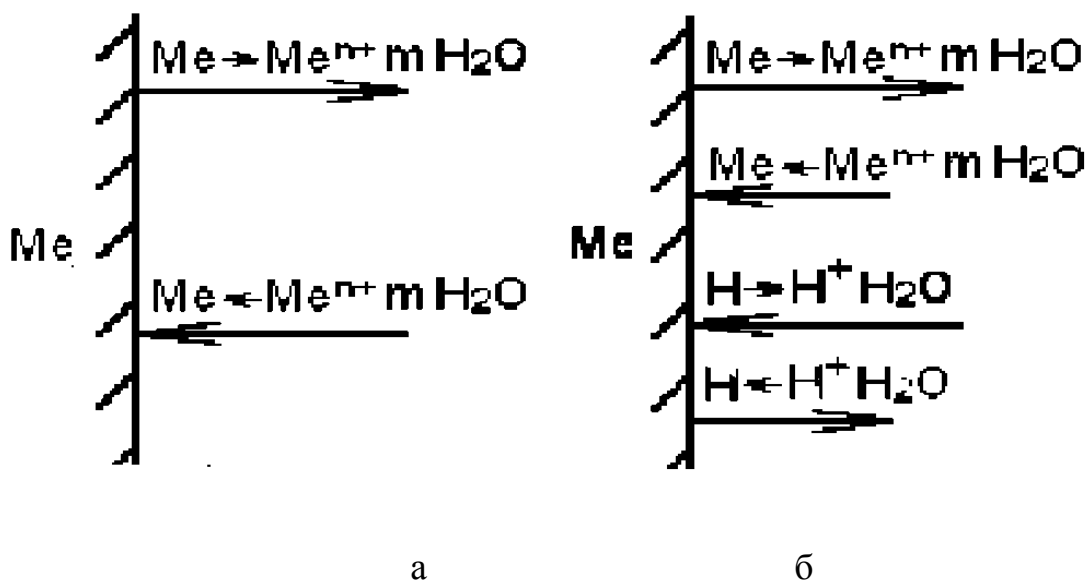


Рисунок 3.1 – Анодний і катодний струми, що виникають при оборотному (а) і необоротному (б) потенціалах

У цьому випадку  $I_{Me_a} > I_{Me_k}$  і, отже, відбувається матеріальна втрата металу ( $\Delta m > 0$ ).

Необоротні електродні потенціали не можна обчислити за допомогою рівняння Нернста (3.1); їх можна визначити тільки дослідним шляхом. На їхню величину впливають різні фактори. За даними Г.В. Акімова, на величину необоротних потенціалів впливають: хімічна природа металів –  $\leq 4$  В, стан поверхні металу – десяті вольты, адсорбція атомів і молекул – соті і десяті вольты, механічні напруження – до сотих вольты, хімічна природа і концентрація розчину – десяті вольты і вольты, зміна температури на  $10^\circ$  С – соті вольты.

Таким чином, реальний корозійний процес характеризується величиною необоротного (стаціонарного) значення потенціалу, при якому одночасно протікають анодна і катодна реакції.

Адсорбція поверхнево-активних компонентів розчину електроліту, за даними Г.В. Акімова, може змінювати електродний потенціал металу на десятки і сотні мілівольтів. Поверхнево-активними речовинами (ПАР) у водних розчинах електролітів можуть бути молекули, катіони й аніони.

Відомо, що адсорбція ПАР може змінювати опір катодного, анодного або одночасно і катодного, і анодного процесів. При гальмуванні тільки анодного процесу в результаті адсорбції ПАР електродний потенціал зміщується в

позитивний бік, а при гальмуванні катодного процесу – у негативний бік. Часто при введенні ПАР в розчин електроліту гальмується одночасно і катодний, і анодний процеси. У цьому випадку при більш сильному гальмуванні анодного процесу електродний потенціал зміщується в позитивний бік, а при більш сильному гальмуванні катодного процесу – у негативний бік. Тому можна робити висновок про те, яку саме реакцію (анодну чи катодну), переважно, уповільнює інгібітор, який додається у середовище, де вимірюється значення потенціалів –  $\varphi = f(\tau)$ .

### 3.3 Експериментальна частина

#### 3.3.1 Порядок виконання роботи:

##### 3.3.1.1 Вимірювання оборотного потенціалу металів

- Зразок досліджуваного металу (за вказівкою викладача) зачищають наждаковим папером, знежирюють, протираючи спиртом, і закріплюють у штативі.
- Склянку й електродну систему обполіскують невеликою кількістю досліджуваного розчину, виливають його й наливають у склянку нову порцію досліджуваного розчину (за вказівкою викладача). Проводять вимір, для чого утримувач зі зразком і насичений хлоридсрібний електрод (ХСЕ) порівняння занурюють у склянку з електролітом і зчитують показання зі шкали рН-метра після припинення дрейфу стрілки приладу.

Розрахувати значення потенціалу досліджуваного металу за водневою шкалою за формулою:

$$\varphi = \varphi_x + 0,22 \quad (3.2)$$

де  $\varphi$  – потенціал Me відносно водневого електроду, В

0,22 – потенціал хлоридсрібного електроду за водневою шкалою, В

$\varphi_x$  – вимірний електродний потенціал (за хлоридсрібним електродом).

Розрахувати значення оборотного потенціалу досліджуваного металу за рівнянням 3.1 (рівняння Нернста). Порівняти вимірне і розраховане значення. Отримані результати занести до таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Стандартні потенціали металічних електродів (T = 298 K)

Електрод	Електродний процес	E°, В
1	2	3
Al <sup>3+</sup> / Al	Al <sup>3+</sup> + 3e = Al	- 1,662
Zn <sup>2+</sup> / Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e = Zn	- 0,763
Pb <sup>2+</sup> / Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e = Pb	- 0,126
Cu <sup>2+</sup> / Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e = Cu	+ 0,337

Таблиця 3.2 – Результати експерименту

Концентрація досліджуваного розчину солі металу С, моль/л	Вимірний оборотний потенціал металу відносно хлоридсрібного електроду, В	Потенціал металу за водневою шкалою, В	Розраховане значення стандартного потенціалу металу за рівнянням Нернста, В

### 3.3.1.2 Вимірювання необоротного потенціалу

- Виміряти електродний потенціал сталевих зразків (*мідних, алюмінієвих, тощо за вказівкою викладача*) за допомогою рН-метру у досліджуваному розчині з інгібітором і без нього (*розчин для досліджування визначає викладач*). Для цього зразок металу (*зразок для досліджування вказує викладач*) зачищають наждаковим папером, знежирюють і закріплюють у штативі. Невелику кількість досліджуваного розчину наливають у склянку. Утримувач зі зразком і насичений хлоридсрібний електрод порівняння занурюють у склянку з досліджуваним розчином і проводять виміри (*під керівництвом викладача*). Показники знімати після припинення дрейфу стрілки приладу через кожні 2 хв., протягом 30 хв.
- Значення потенціалу, яке перестало змінюватись у часі і стало сталим, вважати значенням необоротного потенціалу для даного зразка. Перерахувати значення необоротного потенціалу відносно водневого електроду порівняння за формулою 3.2.
- Отримані результати дослідів і розрахунків занести у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати спостережень та розрахунки

№пп	Електроліт	Матеріал електроду	$\tau$ , хв	$\varphi_x$ , В	$\varphi$ , В
1	2	3		4	5

- Будують графік зміни електродного потенціалу у часі  $\varphi = f(\tau)$  в досліджуваному розчині без додавання та з додаванням інгібітору.
- Порівнюють значення необоротного потенціалу досліджуваного зразка у розчині без додавання та з додаванням інгібітору і роблять висновок про вплив інгібітору на перебіг катодного та анодного процесу (див. короткі теоретичні відомості).

**3.4 Висновки:** експериментально визначили оборотний потенціал (вказати який метал) він складає (...) та порівняли його із значенням отриманим

за рівнянням Нернста, яке складає (...) Визначили необоротний потенціал електроду із (...) (вказати матеріал, з якого виготовлений електрод) у розчині (вказати вид досліджуваного розчину) без та з додаванням інгібітору. При введенні інгібітору у досліджуваний розчин потенціал електроду зміщується в (...) бік, що свідчить про переважне гальмування (...) процесу.

### Контрольні питання

1. Що називається електродним потенціалом?
2. Як вимірюють електродний потенціал?
3. У якому випадку може встановитися оборотне (рівноважне) значення електродного потенціалу?
4. Чи відбуваються матеріальні втрати металу при рівноважному потенціалі. Поясніть чому?
5. Що називається необоротним, стаціонарним потенціалом?
6. Чи можна обчислити необоротні електродні потенціали за рівнянням Нернста?
7. Як визначають необоротний потенціал?
8. Які йони приймають участь в електродних реакціях при встановленні необоротного потенціалу?
9. Які фактори за даними Г.В. Акімова впливають на величину необоротних потенціалів?
10. Охарактеризуйте вплив адсорбції ПАР на швидкість катодного та анодного процесів.

### Лабораторна робота №4

#### ГРАВІМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРНОГО ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ

**4.1 Мета роботи:** визначити корозійну стійкість та ефективність інгібіторного захисту конструкційних матеріалів в кислих робочих середовищах.

#### 4.2 Короткі теоретичні відомості

Гравіметричний метод використовується для визначення швидкості корозії з метою корозійного контролю і оцінки захисної дії інгібіторів корозії. Він заснований на вимірюванні різниці маси контрольних металевих зразків до і після експозиції в корозійному середовищі. Цей метод застосовується в двох варіантах:

1) визначення збільшення маси зразка внаслідок утворення продуктів корозії на його поверхні ( $Km^+$ );

2) визначення втрат маси після видалення продуктів корозії ( $Km^-$ ).  
Другий варіант більш поширений через свою універсальність.

Швидкість корозії за **масовим показником** ( $\text{г}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$ ) можна визначити

за формулою:

$$Km^+ = \frac{n(m_2 - m_1)}{S \cdot \tau}, \quad (4.1)$$

де  $m_1$  — маса вихідного зразка, г;  $m_2$  — маса зразка разом із продуктами корозії, г;  $S$  — площа поверхні зразка,  $\text{см}^2$ ;  $\tau$  — час іспиту, год.;  $n$  — коефіцієнт, що залежить від складу продуктів корозії.

Ця формула застосовна тільки в тих випадках, коли відомий хімічний склад продуктів корозії, знайдений за допомогою хімічного або рентгенографічного аналізу. Остання обставина є істотним недоліком першого варіанта гравіметричного методу; він застосовний в основному для дослідження газової корозії, при якій на поверхні металу утворюється лише негідратований оксид, тому що при високій температурі не може утворитися шар вологи.

Перевага першого варіанта полягає в тому, що у випадку його застосування можна простежити за кінетикою процесу на тих самих зразках, оскільки ведеться спостереження за збільшенням їхньої маси.

При використанні другого варіанта гравіметричного методу продукти корозії видаляються різними розчинами, взаємодіючими не з основним металом, а лише з продуктами корозії. Поряд з цим ставлять і так звану «сліпу» пробу, тобто оброблюють неекспоновані зразки, щоб одержати дані про розчинення основного металу.

**Масовий показник** швидкості корозії за другим варіантом гравіметричного методу розраховують за формулою:

$$Km^- = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}, \quad (4.2)$$

де  $m_2$  — маса зразка після видалення продуктів корозії.

У цьому випадку хімічний склад продуктів корозії не має значення для результату розрахунку. За втратами маси можна оцінювати корозійну стійкість металу в балах, припускаючи, що метал руйнується рівномірно (на практиці переважно процес корозії носить нерівномірний характер). Метод визначення швидкості корозії за втратами маси має ряд недоліків: важко повністю видалити всі продукти корозії, не торкаючись основного металу, неможливо оцінювати нерівномірну корозію і міжкристалітне та транскристалітне корозійне руйнування.

Зразки, призначені для гравіметричних вимірів, можуть мати різноманітну форму, але для одержання швидких і точних результатів необхідно, щоб площа була максимальною при мінімальній масі, що зв'язано із можливостями аналітичних терезів. Втрата маси за величиною повинна бути на один порядок вище можливості терезів, тобто зразки повинні бути як можна більш тонкими. Поверхня зразків повинна мати високий і однаковий клас шорсткості, тому що зразки з нерівною поверхнею, мають реальну площу, що набагато перевищує

геометричну. Це приводить до похибок у розрахунках.

**Глибинний показник:**  $K_{\Gamma}, \text{мм/рік}$ .

$$K_{\Gamma} = 8,76 \cdot K_m / \rho, \quad (4.3)$$

де 8,76 — коефіцієнт для переходу від вимірювання масового показника швидкості корозії з розрахунку на 1 год. до глибинного показника з розрахунку на 1 рік (24 год • 360=8760 год);

$\rho_{Me}$  – густина металу,  $\text{г/см}^3$  ( $\rho_{Fe} = 7,85 \text{ г/см}^3$ ).

Бал корозійної стійкості проставляється згідно таблиць 1.2, 1.3.

**Струмовий показник:**  $m\dot{i}_c, \text{А/см}^2$

$$m\dot{i}_c = F \cdot K_m \cdot \frac{n}{A} \approx 0,96 \cdot K_m \quad (\text{для } Fe) \quad (4.4)$$

де  $F$  – постійна Фарадея,  $F = 26,8 \text{ А} \cdot \text{год.} / \text{г-екв}$ ;  $n$  - заряд йону, що утворився внаслідок корозії,  $n = 2$ ;  $A$  - атомна маса металу,  $A = 55,85$  – для  $Fe$ .

**Коефіцієнт гальмування швидкості корозії:**

$$\gamma = m\dot{i}_c / m\dot{i}_c' \quad (4.5)$$

де  $m\dot{i}_c$  - масовий показник швидкості корозії без інгібітора;  $m\dot{i}_c'$  - масовий показник з використанням інгібітора корозії.

**Ступінь інгібіторного захисту:** %.

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100\% \quad (4.6)$$

### 4.3 Експериментальна частина

1. Попередня підготовка зразків проводиться аналогічно, що і в лабораторній роботі.
2. Проводиться вимір площі зразка. Зважування на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г.
3. Зразки після знежирювання поміщають у посуд з робочими розчинами кислот різної концентрації (без інгібітору та з інгібітором) – за завданням викладача.
4. Протягом 1 години зразки витримуються в робочому середовищі при сталих зовнішніх факторах.
5. Очищення зразків необхідно проводити відразу ж після випробування, оскільки при знаходженні на поверхні рихлих продуктів корозії корозійний процес

продовжується, іноді навіть з більшою швидкістю.

Після вивантаження зразки необхідно швидко промити проточною водопровідною водою, протерти м'якою щіткою або гумкою; коли даний захід не забезпечує повного видалення продуктів корозії, слід розчинити їх в спеціальних, приведених нижче розчинах.

Оксиди заліза розчиняються в розчині соляної кислоти (9 – 10 моль/л), інгібованому хлоридом стибію (0,07 – 0,08 моль/л) не більше 1 хв.

Після проведення всіх вказаних операцій зразок, що має чисту поверхню, промивають проточною водопровідною водою і ретельно висушують фільтрувальним папером або зануренням на 1 – 2 хв. в спирт.

6. Проводиться повторне зважування зразків.

7. Проводять розрахунки за формулами 4.2-4.6. Отримані результати заносять до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати досліджень

№ <sub>пп</sub>	Кислота (концентрація, наявність інгібітору)	m <sub>1</sub> , г	m <sub>2</sub> , г	$K_m$ ,	$K_D$ , мм/рік	$m_i$ , А/см <sup>2</sup>	Бал корозійної стійкості
				$\frac{z}{\text{см}^2 \cdot \text{год}}$			

**4.4 Висновки:** експериментально визначено, що корозійна стійкість сталі (...) у розчинах (...) становить (...), а при наявності інгібітору з концентрацією (...) г/л в (...) корозійна стійкість (...). Захист (не)ефективний.

#### Контрольні питання

1. Поясніть сутність гравіметричного методу дослідження корозійної стійкості металів.
2. Як оцінити масовий показник швидкості корозії при збільшенні маси зразка внаслідок утворення продуктів корозії на його поверхні?
3. Як оцінити масовий показник швидкості корозії при визначенні втрат маси після видалення продуктів корозії ?
4. Яким чином обраховується струмовий показник швидкості корозії?
5. Що характеризує глибинний показник швидкості корозії?
6. Яку шкалу використовують для визначення корозійної стійкості у балах?
7. Які недоліки гравіметричного методу досліджень?
8. З яким видом деполіризації переважно протікає корозія металів у кислотах з неокислювальним аніоном? Які електродні процеси мають місце?
9. Вкажіть парціальні процеси корозії сталі в розчині HCl.
10. Вкажіть особливості очистки зразків від продуктів корозії.

### Лабораторна робота №5

## ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРНОГО ЗАХИСТУ

**5.1 Мета роботи:** визначити кінетичні та термодинамічні параметри корозії металів та сплавів, оцінити ефективність інгібіторів корозії із застосуванням потенціостатичних методів досліджень.

### 5.2 Короткі теоретичні відомості

Одними з найбільш важливих і точних методів лабораторних корозійних досліджень є електрохімічні. Найчастіше досліджується зміна потенціалу металу у певному корозійному середовищі в залежності від часу, але більш повну картину корозійного процесу дають так звані поляризаційні криві, за якими судять про поляризуємість даного металу, про роль катодних і анодних реакцій і вплив внутрішніх і зовнішніх факторів на корозійний процес.

Поляризаційні діаграми, звані іноді діаграмами Еванса, - це графіки залежності потенціалу від логарифма струму або щільності струму. Вперше вони були запропоновані У. Р. Евансом з Кембріджського університету (Англія), який продемонстрував корисність таких діаграм для оцінки корозійної поведінки металів. Для отримання поляризаційної діаграми беруть досліджуваний електрод («робочий» електрод), електрод порівняння і допоміжний електрод, зазвичай платиновий. Зображення електрохімічної комірки наведено на рисунку 5.1.

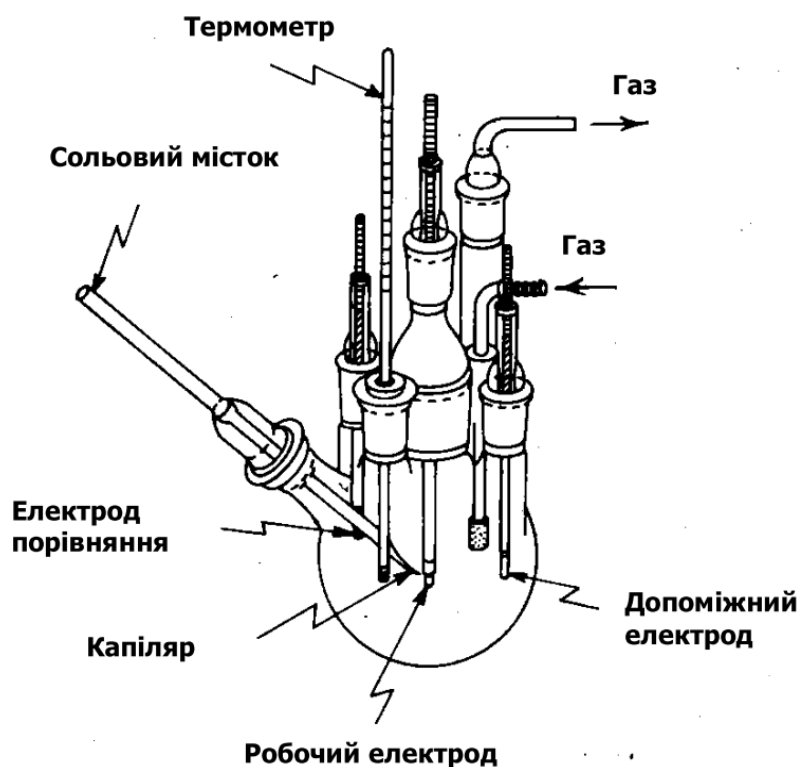


Рисунок 5.1 – Електрохімічна комірка



Вимірювання зазвичай проводяться за допомогою потенціостата (рисунок 5.2). Цей прилад автоматично підтримує з високою точністю заданий потенціал.

При побудові поляризаційних діаграм за експериментальними даними зазвичай спочатку визначають потенціал корозії у відсутність зовнішнього струму. Далі анодно або катодно поляризують робочий електрод для побудови одної з кривих ліній на діаграмі. Потім процес поляризації повторюють (із зворотною полярністю зовнішнього струму) і будують другу криву. За допомогою потенціостата поляризацію можна виконати ступінчасто (потенціостатично) або безперервно (потенціодинамічно). Отримавши залежності потенціалу від логарифма зовнішнього струму в межах позитивних та від'ємних значень корозійного потенціалу.

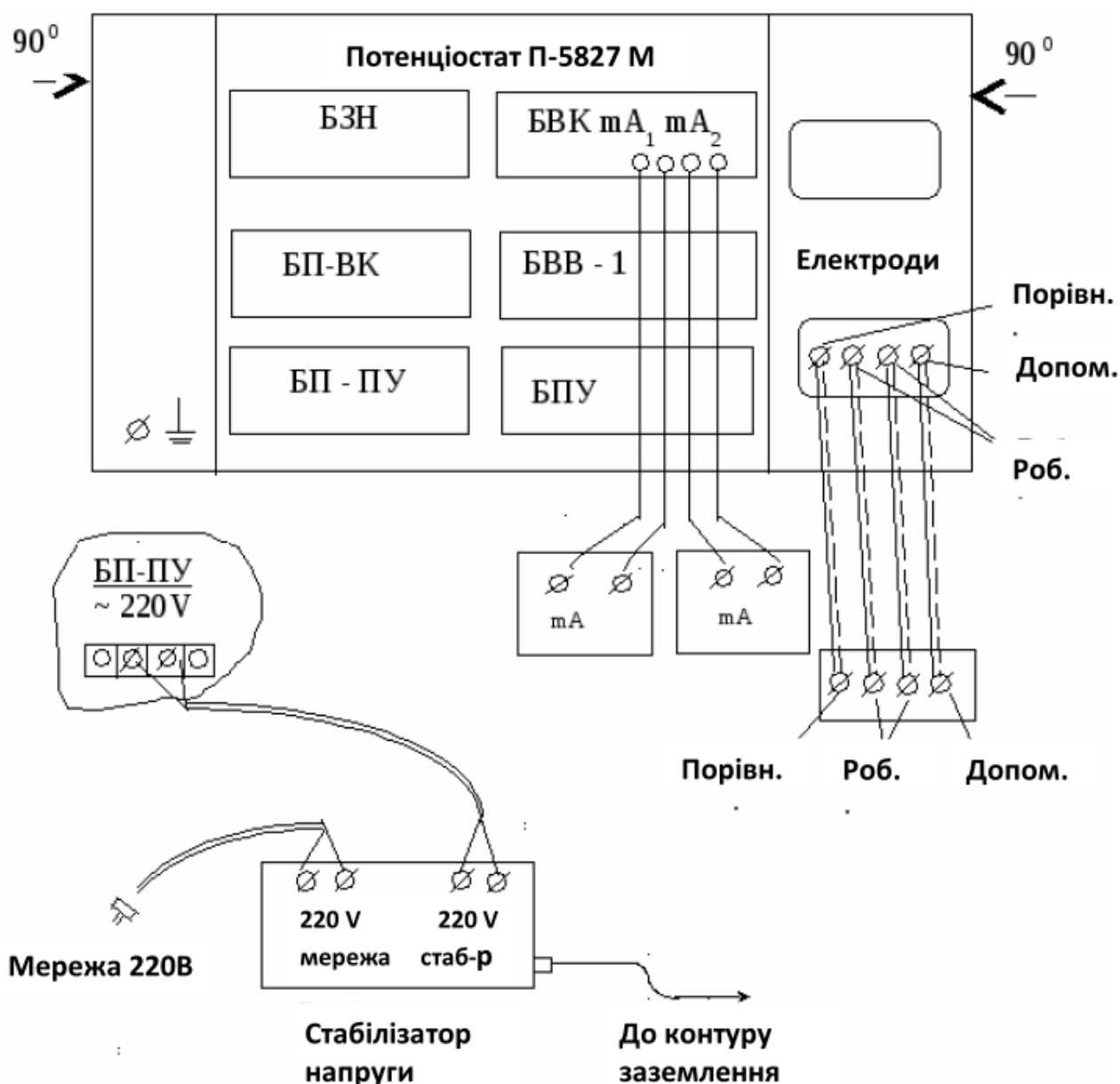
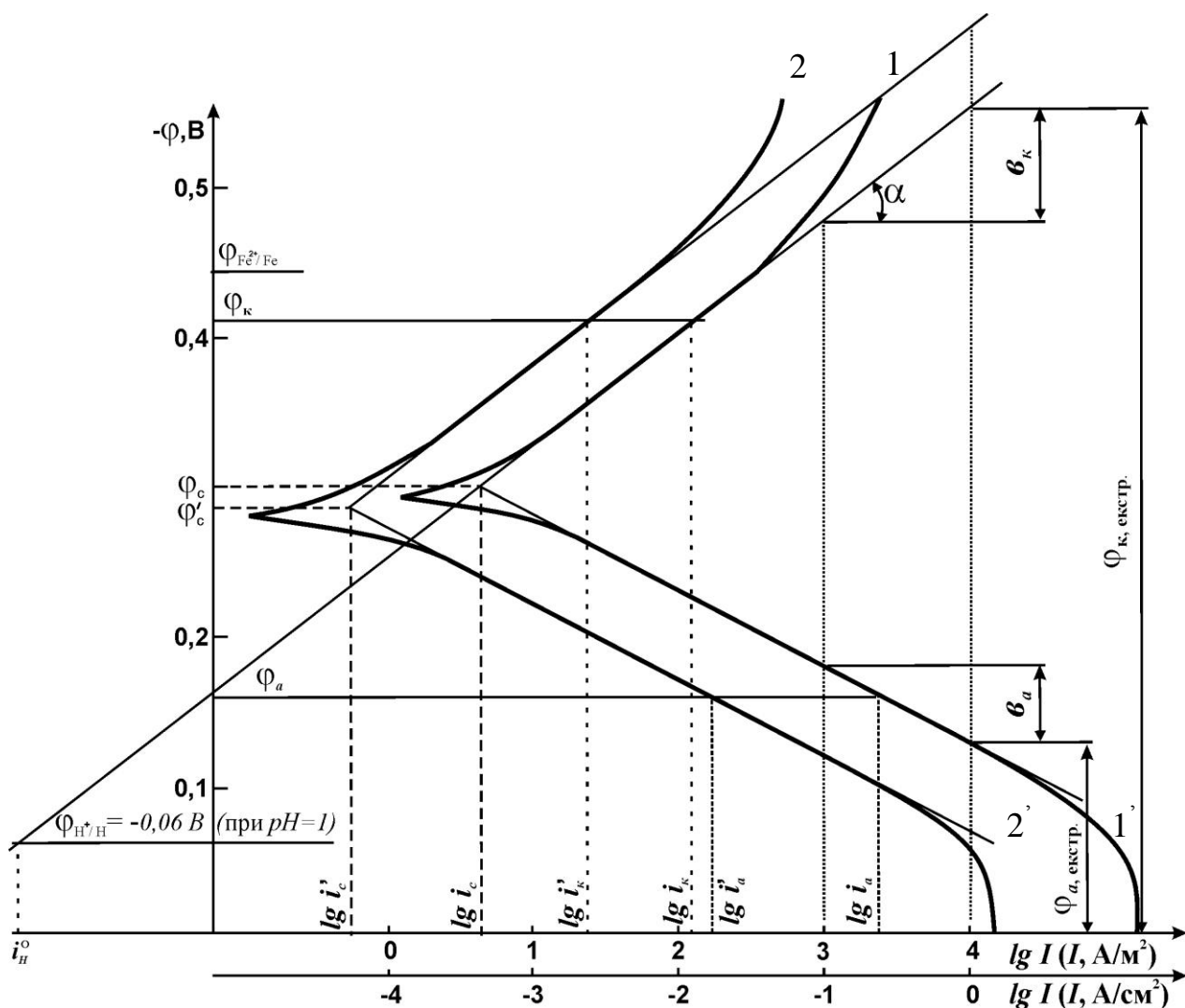


Рисунок 5.2 – Схема зовнішніх під'єднань потенціостата  
За поляризаційними кривими можна обчислити швидкість корозії металу.

Якщо відома залежність швидкості катодної й анодної реакцій від потенціалу, то шляхом графічної побудови можна визначити швидкість корозії металу в даних умовах. Для того щоб установити залежність між потенціалом і швидкістю електродних реакцій, густина зовнішнього струму повинна бути значно вище густини корозійного струму. Цієї умови необхідно дотримуватись через вплив на величину потенціалу супутнього електродного процесу. Фактично, при знятті катодної поляризаційної кривої швидкість катодного процесу підвищується пропорційно густині зовнішнього струму, але вплив анодного процесу продовжується доти, поки густина зовнішнього струму не стане сумірною з густиною корозійного струму.

Графічна залежність, що дозволяє визначити швидкість корозії, представлена на рисунку 5.3.



1, 1' – поляризаційні криві без інгібітора; 2, 2' – поляризаційні криві з інгібітором в робочому середовищі

Рисунок 5.2 – Поляризаційні криві корозії сталі (без Ін та з Ін – “'”) та схема відповідних побудов та розрахунків.

За віссю абсцис нанесені значення густини струму в логарифмічних

одинацях, а по осі ординат — відповідні величини потенціалу. За кінетичними рівняннями швидкості електродних процесів, залежність між потенціалом і струмом є напівлогарифмічною. На цій підставі побудова поляризаційних кривих у такому масштабі дає можливість шляхом екстраполяції прямолінійних ділянок (які називаються тафелевими) до їхнього взаємного перетинання визначити густину корозійного струму. Оцінка буде правильною, якщо величина стаціонарного корозійного потенціалу не змінюється в часі.

Цей метод більш складно застосовувати в тих випадках, коли концентраційні зміни в розчині впливають на хід поляризаційних кривих, а також коли на металевій поверхні утворюються фазові й адсорбційні шари. Напівлогарифмічна залежність між потенціалом і густиною струму в цьому випадку порушується і метод стає непридатним.

### 5.3 Експериментальна частина

5.3.1. *Підготовка зразків.* Досліджуваний електрод не повинен мати на поверхні сліди корозії. Проводять відповідну механічну та електрохімічну обробку зразка (за вказівкою викладача вибирають метал або сплав для досліджень). Знежирюють робочий електрод.

5.3.2. *Підготовка посуду, розчинів, комірки.* Посуд і електролітичну комірку миють свіжоприготовленим розчином хромової суміші, водопровідною і дистильованою водою. Перед проведенням вимірів комірку 2-3 рази ополіскують робочим розчином, встановлюють робочий електрод (РЕ) і заповнюють робочим розчином.

Для видалення з розчину розчиненого в ньому кисню через комірку протягом 20-30 хв. пропускають очищений водень (інертний газ –  $N_2$ , He та ін.). Недостатнє очищення робочого розчину приводить до одержання більш низьких струмів обміну і коефіцієнтів переносу.

Для відновлення оксидів, що могли утворитися на поверхні електроду при його підготовці, РЕ поляризують катодно при густині струму  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup> протягом 10-15 хв. Після цього електрод відключають від поляризуючого ланцюга, витримують без струму до встановлення стаціонарного потенціалу і знімають поляризаційну криву.

В комірці повинні бути відсутні гумові елементи. Варто також звернути увагу на положення капіляру Лугіна, що не повинен торкатися електроду, але мусить знаходитися на мінімальній відстані від його поверхні (0,1-0,5 мм). Це положення має бути жорстко зафіксовано.

Використовують електроди порівняння: ртутно-сульфатний закисний (для сірчаноокислих розчинів), хлоридсрібний і каломельний (для хлоридних розчинів), окисно-ртутний (для лужних розчинів). Електрод порівняння (ЕП) має знаходитися в розчині на глибині 10-15 мм.

#### 5.3.3. *Вказівки до порядку роботи на потенціостаті.*

1. Прогрів потенціостата 20-30 хв.
2. Тумблер ставиться в положення "+", (якщо РЕ стосовно ЕП заряджений позитивно), якщо негативно - у положення "-".

3. При стаціонарному потенціалі РЕ величина струму, що реєструється міліамперметром повинна дорівнювати 0. Якщо струм реєструється, то при даному початковому потенціалі приймають цю величину струму за вихідну.

4. Електрод витримують без пропускання струму 15 хв., через кожні 3-5 хв., заміряють потенціал електрода до встановлення стаціонарного потенціалу.

5. Потенціал змінюють, починаючи від стаціонарного значення кроком у 5-10 мВ у катодний бік, а після зсуву потенціалу на 100 мВ від стаціонарного - кроком 50 мВ; при кожному потенціалі електрод витримують 2-3 хв.

6. Записують для кожного потенціалу значення струму за міліамперметром в момент включення струму і після витримки в 2-3 хв.

7. Максимальний зсув потенціалу РЕ від початкового повинен бути таким, щоб струм, що протікає через комірку не перевищував 100-150 мА (катодні криві) і 50 мА (анодні криві). Інтервал густини струму звичайно складає від  $10^{-4}$  до  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup> (повинен змінюватися на 3-5 порядків). Особливо ретельно досліджується область високих густин струму (від  $10^{-4}$  до  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>).

8. Криві знімають прямим і зворотним ходом, не менше двох разів на свіжо підготовлених електродах. За усередненими даними будують графіки і проводять розрахунки.

Після зняття катодної кривої витримують електрод при  $\varphi_c$  протягом 10-15 хв. і знімають анодну поляризаційну криву.

#### 5.3.4 *Порядок виконання роботи і вказівки до розрахунків за поляризаційними кривими.*

1. Поляризаційні криві знімають у інгібованих і неінгібованих розчинах (метали та сплави для досліджень, робочі середовища та інгібітори корозії з'ясовуються з викладачем).

2. Будують поляризаційні криві **(після побудови, найкраще провести консультацію з викладачем, стосовно визначення захисного механізму інгібітора)** в напівлогарифмічних координатах  $\varphi_i = f(\lg i)$ .  $\varphi_i$  відкладають за водневою шкалою. У подальшому всі показники знаходять шляхом графічних побудов з поляризаційних кривих (рисунок 5.2) та відповідних розрахунків.

3. За точкою перетину початкових лінійних відрізків (тафелевих ділянок) цих кривих визначають швидкість електрохімічної корозії (саморозчинення) металу -  $i_c$  і  $i_c'$  і (у неінгібованих і інгібованих - „'” середовищах). Їй відповідає стаціонарний потенціал корозії  $\varphi_c, \varphi_c'$ .

4. При потенціалах  $\varphi_a = -0,20 \dots -0,15$  В та  $\varphi_k = -0,4 \dots -0,55$  В знаходять значення швидкостей парціальних процесів анодної ( $i_a$ ) і катодної ( $i_k$ ) реакції - у неінгібованих і інгібованих розчинах ( $i_a, i_k, i_a', i_k'$ ).

5. Розраховують коефіцієнти гальмування: швидкості електрохімічної корозії  $\gamma_c$ , анодної реакції іонізації металу  $\gamma_a$ , катодної реакції виділення водню  $\gamma_k$ , відповідно:

$$\gamma_c = \frac{i_c}{i_c'}, \quad \gamma_a = \frac{i_a}{i_a'}, \quad \gamma_k = \frac{i_k}{i_k'} \quad (5.1)$$

11. Ступінь інгібіторного захисту:

$$Z(\%) = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100\% \quad (5.2)$$

Також в подальших дослідженнях розраховують часткові коефіцієнти інгібування:  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ , ступінь катодного ( $C_k$ ) та анодного ( $C_a$ ) контролю тощо.

**5.4 Висновки:** експериментально визначено, кінетичні параметри корозії конструкційного матеріалу (...), які свідчать про те, що застосовані інгібітори гальмують переважно (...) реакцію, ступінь інгібіторного захисту від корозії становить – (...).

#### Контрольні питання

1. Хто першим з вчених запропонував використовувати поляризаційні діаграми?
2. До якої групи методів дослідження корозії відноситься потенціометрія?
3. Які електроди використовують для отримання поляризаційних діаграм?
4. Яким чином відбувається зняття поляризаційних діаграм?
5. Вкажіть особливості конструкції електрохімічної комірки.
6. Який порядок роботи на потенціостаті?
7. Як ведеться підготовка зразків, посуду, комірки для роботи на потенціостаті?
8. Наведіть схему побудови поляризаційних кривих.
9. За яким рівнянням оцінюється швидкість корозії конструкцій?
10. Про що свідчить величина ступеню інгібіторного захисту?

### Лабораторна робота №6

#### ДІАГНОСТИКА КОРОЗІЙНОЇ ТРИВКОСТІ СТАЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТЕКТОРНОГО ЗАХИСТУ

**6.1 Мета роботи:** за допомогою якісних випробувань провести діагностику впливу пасивації, неоднакової аерації поверхні на корозійну тривкість сталі, дослідити ефективність протекторного захисту сталі від корозії.

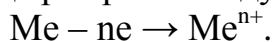
#### 6.2 Короткі теоретичні відомості

Діагностику корозійної тривкості сталі можна здійснювати за допомогою якісних випробувань. Наприклад, для діагностики пітингів накладають на поверхню металу (Me) фільтрувальний папір, змочений розчином NaCl (20г/л) з  $K_3[Fe(CN)_6]$  (10 г/л). Поява синіх плям свідчить про наявність пітингів – дуже небезпечних для металічних тонколистових матеріалів. Про якість захисної

оксидної плівки на металах судять також за червоними плямами міді в результаті занурення оксидованого зразка в розчин з  $\text{CuSO}_4$ .

Комплексна система контролю і оцінки ефективності захисту від корозії дає можливість значно підвищити дієвість корозійного моніторингу.

Два метали, що знаходяться в контакті і занурені в розчин електроліту, самодовільно утворюють електрохімічну пару. У цих умовах метал, що має більш негативний потенціал, відіграє роль аноду, він кородує:



Другий метал, що має більш позитивний потенціал, відіграє роль катоду. На його поверхні відбувається процес катодної деполяризації. У випадку коли електролітом є кислий розчин, спостерігається воднева деполяризація:



Оскільки анодний і катодний процеси взаємозалежні, швидкість корозії в цілому визначається більш повільним процесом. У більшості випадків анодне окиснення металів відбувається без труднощів, тобто анодна поляризація є невеликою.

Звичайно катодний процес супроводжується значною катодною поляризацією, що характеризується великою різницею між первинним значенням потенціалу катода і його реальним значенням.

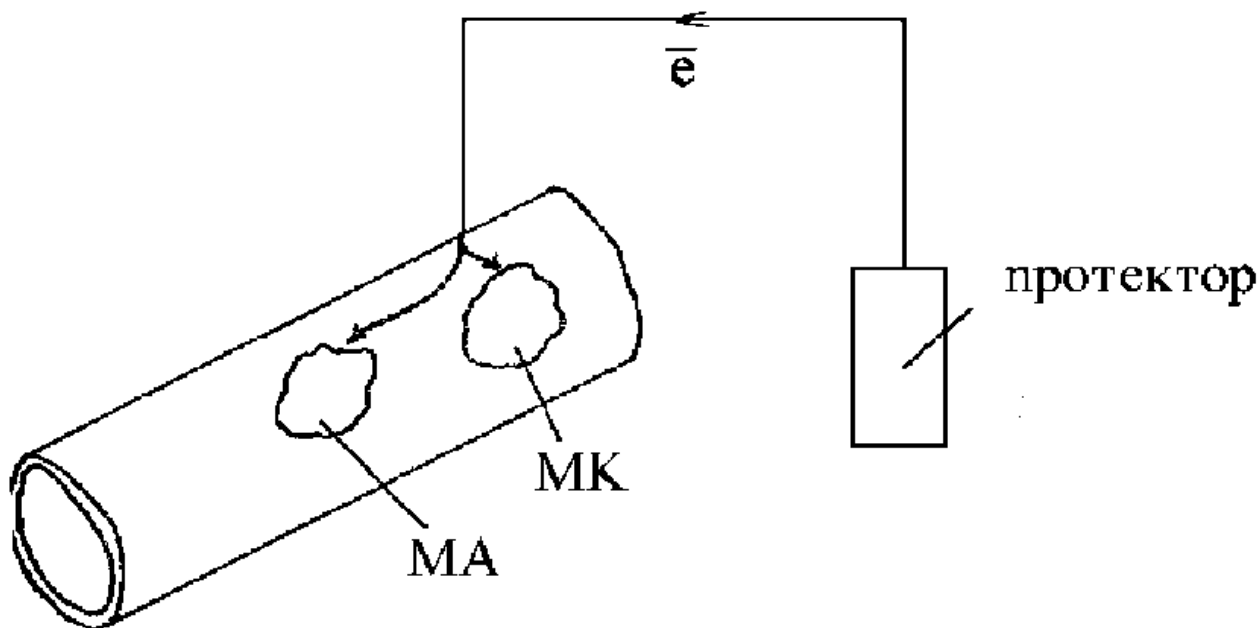
Звичайно величину водневої катодної поляризації називають перенапругою виділення водню  $\eta$ . Для металів з великою перенапругою виділення водню швидкість виділення водню буде менше, ніж для металів з малою перенапругою. Якщо порівняти систему цинк-свинець із системою цинк-мідь, то в першому випадку ( $\text{Zn/Pb}$ ) буде висока перенапруга водню і маленька швидкість виділення водню, тобто мала швидкість корозії. В другому випадку ( $\text{Zn/Cu}$ ) перенапруга водню буде менше і тому швидкість катодного процесу (а, отже, і швидкість корозії) буде більше.

Добре відомо, що чистий цинк розчиняється в кислотах з дуже малою швидкістю. Це пояснюється високою перенапругою виділення водню на поверхні цинку. Однак технічний цинк легко і швидко розчиняється в кислотах. Це пояснюється присутністю на поверхні технічного цинку домішок металів (таких як мідь, кобальт, нікель, залізо), для яких перенапруга виділення водню менше, ніж у цинку. Основний метал (цинк) відіграє роль аноду, а домішки відіграють роль катоду у величезній кількості короткозамкнених корозійних гальванічних елементів.

Протекторний захист – спосіб захисту споруди примусовою катодною поляризацією за допомогою підключення до споруди електродів з металів, які володіють у даному середовищі більш негативним потенціалом, ніж потенціал металу споруди.

Протекторний захист – це різновид катодного захисту, який не вимагає зовнішнього джерела струму. Необхідний для захисту електродний поляризаційний струм створює електрохімічний елемент, в якому роль катоду грає метал споруди, яка захищається, а роль аноду – більш електронегативний метал (магній, цинк та їх сплави). На рисунку 6.1 наведена схема протекторного захисту. У процесі роботи електрохімічного елемента цинковий анод як більш

негативний окиснюватиметься, тобто буде розчинятися, посилаючи надлишок електронів на катод – виріб, який захищається.



МА – мікроанод, МК – мікрокатод  
Рисунок 6.1 – Схема протекторного захисту

На виробі, який захищається (катоді), при роботі короткозамкненого корозійного елемента відбувається два процеси:

- за рахунок надлишку електронів на виробі йде придушення роботи мікроаноду через катодну поляризацію;
- на мікрокатоді і на всій поверхні йде процес йонізації кисню або відновлення йонів водню, таким чином, корозія металу припиняється.

Катодний протекторний захист широко використовується для захисту від корозії підземних і підводних конструкцій. Протектори для захисту сталевих конструкцій – звичайно сплави на основі  $Mg$ ,  $Al$ ,  $Zn$ . Повний захист можливий, якщо при приєднанні анодного протектора до металу, потенціал металу досягає його оборотного потенціалу  $(\varphi_{Me})_{об}$ .

### 6.3 Експериментальна частина

#### 6.3.1 Якісні випробування корозійної тривкості сталі

**6.3.1.1 Якісні випробування впливу пасивації на швидкість корозії сталі.** Зачищають металічний зразок наждачним папером і знежирюють. Металічний зразок занурте у невелику кількість конц.  $H_2SO_4$ , а другий – конц.  $NaOH$ . Витримайте зразки в цих пасивуючих середовищах – 30-60 с. Потім вилучіть зразки із розчинів та промийте їх (спочатку водопровідною, а потім дистильованою водою).

Додайте в 3 стаканчики з 3% розчином  $NaCl$  (рН 7) по декілька крапель  $K_3[Fe(CN)_6]$  і занурить туди зразки, у третій стаканчик занурте зразок, який не піддавався пасивації. Спостерігайте час до появи синього забарвлення

(турнбулева синь  $\text{Fe}_3[\text{Fe}^{2+}(\text{CN})_6]_2$ ):  $\text{Fe}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}^{2+}(\text{CN})_6]_2$ , що свідчить про початок корозії пасивованого зразка. Проведіть аналогічні випробування в  $\text{HCl}$ , рН 1... 3 (за вказівкою викладача). Складіть таблицю спостережень:

Таблиця 6.1 – Якісні випробування корозійної тривкості сталі  
( $\tau$  появи забарвлення, хв.)

рН	Пасивація в $\text{H}_2\text{SO}_4$	Пасивація у $\text{NaOH}$	Без пасивації
7			
3			
2			
1			

Зробіть висновок про швидкість зразків без пасивації та з пасивацією. Поясніть причину отриманих результатів.

#### 6.3.1.2 Діагностика якості пасивації поверхні зразка.

Запасиваний металічний зразок занурте в розчин з 20 г/л  $\text{CuSO}_4$ ; 15-30 хвилин, потім промийте і висушіть його. Спостерігайте наявність на поверхні червоних точок (плям), які свідчать, що оксидна плівка на зразку несуцільна. Тому на незапасивованих ланках поверхні сталі виділяється мідь. Відсутність червоних плям свідчить, що пасивація зразків проведена якісно.

Занотуйте спостереження, складіть рівняння реакцій анодного і катодного процесів у гальванічній парі, що виникла на поверхні сталі внаслідок неякісної пасивації.

**6.3.1.3 Якісна діагностика впливу нерівномірної аерації поверхні металу на його корозію.** Зачищають сталю пластинку наждачним папером. На чисту поверхню сталі нанесіть краплю спеціального розчину, утвореного з розчинів хлориду натрію ( $5 \text{ см}^3$ ) з масовою часткою 3%, гексаціаноферату (III) калію  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (2-3 краплі на  $5 \text{ см}^3$  розчину) і фенолфталеїну (2-3 краплі фенолфталеїну на  $5 \text{ см}^3$  розчину). Спостерігайте за появою різного забарвлення в центрі краплі і на її периферії.

Занотуйте спостереження, складіть рівняння реакцій анодного і катодного процесів у гальванічній парі, що виникла на поверхні сталі внаслідок нерівномірної аерації її поверхні під краплею розчину електроліту, визначте анодні і катодні ділянки металу.

*Примітка:* Гексаціаноферат(III) калію  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  додають до розчину як реактив на йони феруму (II), що виникають у розчині внаслідок перебігу анодного окиснення металу. При цьому утворюється малорозчинна речовина синього кольору.

**6.3.1.4 Корозія алюмінію в контактi з міддю.** З'єднати попарно пластинки або стрижні алюмінію і міді. Ретельно очистіть контакти. В хімічну склянку налийте 3% водний розчин  $\text{NaCl}$  і додайте декілька крапель фенолфталеїну. Занурте в цю склянку пару алюміній-мідь. Місце контакту повинно бути поза розчином. Уважно спостерігати за розчином у склянці.



Вказати катод і анод, напрямок переміщення електронів. Чому в склянці з'являється фарбування? Написати рівняння реакцій, що протікають на аноді і катоді. В чому сутність хімічної й електрохімічної корозії металів? Написати рівняння реакцій, що протікають на анодних і катодних ділянках при корозії сталі в нейтральному середовищі.

#### **6.3.1.5 Дослідження протекторного захисту.**

Використовують 2 склянки (на 50 см<sup>3</sup>) з 3% водним розчином NaCl. В одну склянку поміщають дві скріпки зачищені наждачним папером в контакт з цинком (або *Mg, Al*), в іншу – дві скріпки в контакт з мідним дротом. В обидві склянки додають по 3-4 краплі гексацианоферата (III) калію –  $K_3[Fe(CN)_6]$  і спостерігають за появою синьо-блакитного забарвлення (турнбулевої сині) в склянках протягом 30 хвилин.

За інтенсивністю забарвлення роблять висновки про ефективність захисту сталі в одному з досліджених випадків і про відсутність захисту в іншому, пояснюючи їх. Чому застосування анодних протекторів не ефективно в кислих середовищах? Написати рівняння реакцій, що протікають на аноді і катоді у розглянутих випадках.

**6.4 Висновки:** на основі якісних випробувань експериментально показано, що наявність пасивної плівки на поверхні металу (уповільнює/підсилює) швидкість його корозії; неоднакова аерація поверхні металу призводить до виникнення мікрогальванічних пар на його поверхні, тобто швидкість корозії (зростає/зменшується); встановлено, що ефективним захистом сталі від корозії є застосування (анодного/катодного) протектора, а при застосуванні (анодного/катодного) захист відсутній тому, що (...). Застосування анодних протекторів не ефективно в кислих середовищах внаслідок (...).

#### Контрольні питання

1. Що таке пасивація і як вона впливає на швидкість корозії?
2. Що таке пітинги? В чому полягає їх небезпечність?
3. Як діагностувати наявність пітингів в сталі?
4. Чому нерівномірна аерація поверхні є причиною корозійного руйнування металу?
5. Які умови повинні бути виконані для самодовільного утворення корозійної гальванічної пари?
6. Яким чином дві ділянки металевої поверхні поділяються на анодну та катодну зони?
7. На якому електроді – аноді чи катоді частіше за все поляризація більше і чому?
8. Що називають перенапругою виділення водню на катодній поверхні?
9. Як величина перенапруги виділення водню на катодній поверхні пов'язана з щільністю корозійного струму?

10. Чому чистий цинк розчиняється в кислотах з дуже малою швидкістю, в той час як технічний цинк легко і швидко розчиняється в кислотах?

## Лабораторна робота №7

### ДОСЛІДЖЕННЯ МАЛОЦИКЛОВОЇ КОРОЗІЙНОЇ ТА ВОДНЕВОЇ ВТОМИ СТАЛІ

**7.1 Мета роботи:** визначити малоциклову корозійну та водневу витривалість металоконструкцій в різних агресивних середовищах.

#### 7.2 Короткі теоретичні відомості

Корозійна втома - це процес поступового виникнення, а далі - розвитку тріщини під впливом тривалого статичного (статична втома) або повторно-змінного навантаження (циклічна втома), тобто - це повільне руйнування металів. Опір, який чинить метал циклічній втомі, називають витривалістю, або циклічною міцністю. Опір статичній втомі має назву - тривалої міцності.

В багатьох інженерних конструкціях спостерігається руйнування після відносно незначної кількості циклів навантажування, що нараховує декілька тисяч повторень. Руйнування після малої кількості циклів навантажування від так званої малоциклової втоми, як правило, відбувається за значної (близько 1%) пластичної циклічної деформації в макрооб'ємах розглядуваного елемента конструкції.

Межа між мало- і багатоцикловою втомою є умовною і визначаються головним чином мірою непружності матеріалу в циклі навантажування і пластичністю матеріалу. Для високопластичних сплавів перехідна зона мало - і багато цикловою втомою зміщується в бік більших довговічностей, для крихких - у бік менших.

Розрахунки елементів конструкцій на малоциклову втому базуються на експериментальних даних вивчення закономірностей опору деформуванню і руйнуванню за циклічного пружнопластичного деформування, а також дослідженнях кінетики неоднорідного напружено-деформівного стану і накопичення пошкоджень в зонах концентрацій - місцях ймовірного руйнування.

Опір матеріалів циклічному пружно-пластичному деформуванню звичайно вивчають за однорідного напруженого стану, використовуючи два основних види навантажування. В одному випадку під час циклічного деформування сталою зберігається амплітуда напружень, у іншому - амплітуда деформації. Ці види, відповідно, називають м'яким і жорстким навантажуванням.

Опір руйнуванню за циклічного деформування матеріалу суттєво залежить від характеру навантаження (м'яке і жорстке) і циклічних деформаційних властивостей цього матеріалу.

За м'якого навантажування (циклічне навантажування, що забезпечує задану залежність змінення номінального напруження в об'єкті від часу або

іншого параметра) циклічно знеміцнювальних матеріалів накопичуються пластичні деформації, які можуть привести до двох типів руйнування - квазістатичного і втомного. Квазістатичне пов'язане зі збільшенням залишкових деформацій до рівня, який відповідає руйнуванню при одноразовому статичному навантаженні.

Руйнування втомного характеру пов'язане з накопиченням пошкоджень, утворенням тріщин при суттєво меншій пластичній деформації. Можливі і проміжні форми руйнування, коли утворюються тріщини втоми на фоні помітних пластичних деформацій.

Циклічно зміцнювальні матеріали руйнуються тільки від втоми. Для них крива втоми в інтервалі довговічності  $10^2 \dots 10^4$  циклів досить добре описується емпіричним рівнянням

$$\sigma_a N_p n = C \quad (7.1)$$

де  $n$ ,  $C$  - сталі матеріалу.

Для квазістатичного руйнування за критерій переходу в граничний стан приймають величину деформації, накопиченої під час циклічного навантаження, що відповідає руйнуванню за одноразового статичного розтягу. При жорсткому (циклічне навантажування, що забезпечує задану залежність змінення деформації об'єкта від часу чи іншого параметра) навантажуванні немає накопичення деформацій, що виключає можливість квазістатичного руйнування. В цьому випадку всі матеріали руйнуються за механізмом втоми з утворенням тріщини.

Однією з основних вимог до сучасних металоконструкцій обмеженого строку служби є максимальна питома міцність (високе значення відношення міцності до маси). В таких конструкціях (трубопроводи, посудини під тиском, реактори та ін.) виникають напруги, які перевищують границю пружності, що обумовлює довговічність матеріалу не більш  $10^5$  циклів - малоциклова корозійна втома (МЦКВ) (на відміну від багатоциклової корозійної втоми, де довговічність зразків складає багато мільйонів циклів). Одним з різновидів МЦКВ є МЦВВ (малоциклова воднева втома). Якщо МЦКВ відбувається переважно в корозійних (наприклад, 3% NaCl) та корозійно-наводнювальних середовищах (наприклад, 0,1 н. HCl), то МЦВВ переважно в наводнювальних (всі раніше згадані середовища, додатково насичені сірководнем чи в дослідженнях з катодною поляризацією). Найбільш небезпечна та неочікувана МЦВВ.

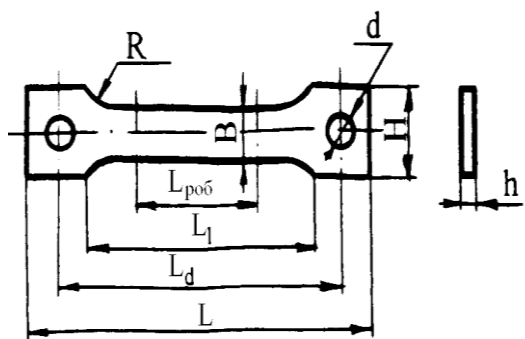
Малоциклове руйнування може бути викликане не тільки дією змінних навантажень, але і повторними тепловими діями. Якщо температурні розширення у деталі обмежені опорними пристроями або навколишніми частинами деталі з незмінною температурою, то в такій деталі виникне температурна напруга. В результаті з'являться пластичні деформації.

Руйнування, викликане знакозмінною пластичною деформацією, що є наслідком циклічних змін температури, називається термічною втомою.

Одним із способів підвищення опору деталей циклічному руйнуванню в умовах малоциклової втоми є виготовлення їх з металів, що циклічно зміцнюються.

### 7.3 Експериментальна частина

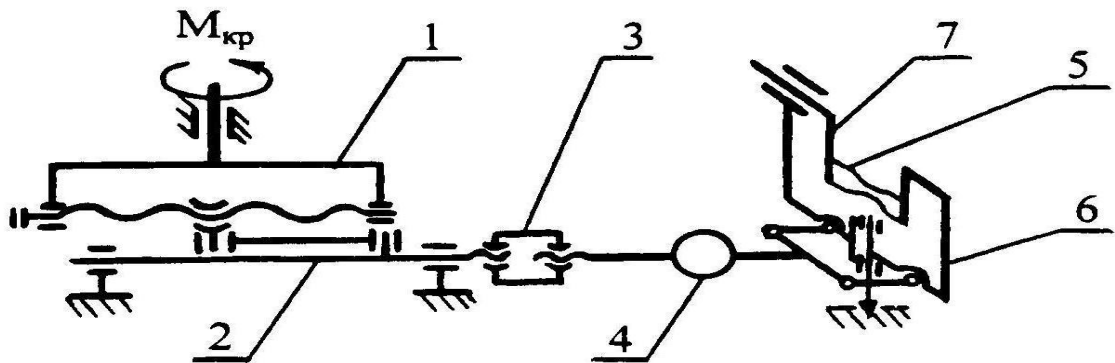
Малоциклову втому сталених стандартизованих зразків (рисунок 7.1) вивчають на машині ПП-2 (рисунок 7.2) в режимі віднульового згину (одна сторона зразка весь час зазнає напруження розтягу, а друга - напруження стиску, чи по-іншому). Максимальна частота навантаження 50 циклів на хвилину.



Основні розміри, мм			
h	B	R	L <sub>роб</sub>
2,5	6	10	15

Допоміжні розміри				
H	L <sub>1</sub>	d	L <sub>d</sub>	L
12	27	8	45	57

Рисунок 7.1 - Зразок для випробувань на малоциклову втому



1 – гвинт, 2 – тяга, 3 – гайка, 4 – динамометр, 5 – зразок, 6,7 – опори

Рисунок 7.2 - Принципова схема машини ПП-2

Підготовлений до випробувань зразок закріплюють в утримувачі, завдаючи йому певний прогин та ступінь деформації  $\epsilon$  (за вказівкою викладача).

Вмикають в електромережу машину ПП-2 і визначають число циклів до руйнування зразка на повітрі  $N_p$  (за електронним лічильником). Закріплюють посудину з робочим середовищем - 3%NaCl і проводять аналогічне визначення

числа циклів до руйнування зразків в корозійному середовищі -  $N_c$ . Заповнюють посудину свіжим розчином - 3%NaCl, зразок катодно поляризують ( $i_k = 0,05-0,1$  А/см<sup>2</sup>), анод – Pt-дріт або графітовий інертний електрод, і визначають число циклів до руйнування в наводнювальному середовищі –  $N_H$  та в корозійно-наводнювальному  $N_{сн}$  – рекомендованому згідно стандартів асоціації інженерів-корозіоністів - NACE (3% NaCl+0.5M CH<sub>3</sub>COOH, pH4).

Повторюють випробування в тих же середовищах але із застосуванням засобів захисту від МЦКВ і МЦВВ (за вказівкою викладача).

Розраховують такі показники:

Ступінь захисту від малоциклової корозійної втоми –  $K_c$  відносно повітря (7.2) та корозійного середовища (7.3) і коефіцієнт гальмування МЦКВ (7.4) –  $\gamma_c^N$

$$K_c = [(N_c' - N_c) / (N_{п} - N_c)] \cdot 100, \% \quad (7.2)$$

де  $N_{п}$ ,  $N_c$ ,  $N_{сн}$ ,  $N_H$  – відповідно кількість циклів до руйнування на повітрі, корозійному, корозійно-наводнювальному і наводнювальному середовищах (штрих – із захистом).

$$K_c = [(N_c' - N_c) / N_c] \cdot 100, \% \quad (7.3)$$

$$\gamma_c^N = N_c' / N_c, \quad (7.4)$$

Ступінь захисту від малоциклової водневої втоми –  $K_H$  та коефіцієнти гальмування МЦВВ –  $\gamma_H^N$

$$K_H = [(N_H' - N_H) / (N_{п} - N_H)] \cdot 100, \% \quad (7.5)$$

$$K_H = [(N_H' - N_H) / N_H] \cdot 100, \% \quad (7.6)$$

$$\gamma_H^N = N_H' / N_H, \quad (7.7)$$

Коефіцієнти впливу середовища: корозійного –  $\beta_c$ , наводнювального –  $\beta_H$ , корозійно-наводнювального –  $\beta_{сн}$  (у порівнянні з повітряним):

$$\beta_c = N_{п} / N_c, \quad \beta_{сн} = N_{п} / N_{сн}, \quad \beta_H = N_{п} / N_H \quad (7.8)$$

**7.4 Висновки:** експериментально визначено ступені захисту від МЦКВ та МЦВВ зразків конструкційних матеріалів (...), які становлять (...), а також визначено коефіцієнти впливу середовищ (...). Дають загальну оцінку доцільності використання інгібіторного захисту за даних умов.

#### Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю “корозійна втома”?
2. Яка різниця між “витривалістю” та “тривалою міцністю”?
3. З чим пов’язане м’яке навантажування конструкцій?

4. В чому різниці між м'яким та жорстким навантажуванням конструкцій?
5. Чим відрізняється малоциклова корозійна втома від багатоциклової корозійної втоми?
6. Чим характеризується МЦКВ?
7. В яких робочих середовищах відбуваються процеси МЦКВ та МЦВВ?
8. З чим пов'язана термічна втома конструкцій?
9. Як вивчають малоциклову втому сталейних зразків?
10. Якими показниками оцінюють ефективність захисту від МЦКВ та МЦВВ?

### Завдання до виконання РГР

Розрахунково-графічна робота (РГР), згідно з робочою програмою спеціальності, є одним з видів самостійної роботи здобувачів вищої освіти з курсу “ Корозія та захист від корозії ”. Ця робота – форма звіту про поточне вивчення дисципліни. РГР складається з п'яти завдань, які відображають окремі навчальні питання. Розв'язання задач здійснюється послідовно після вивчення теоретичних положень. Обов'язковою частиною для кожного завдання є вказання застосування окремих аспектів застосування протикорозійного захисту на практиці.

Варіант завдання до РГР видається кожному студенту окремо на першому занятті. Всі робочі питання щодо роботи вирішуються при відвідуванні консультацій.

Розрахунково-графічна робота повинна бути оформлена у відповідності до вимог стандартів [20] до текстових документів та пояснювальних записок. Форма виконання: обсягом не менше 10 повних сторінок формату А4 (не включаючи титульного аркуша). РГР має містити: титульний аркуш, аркуш завдання, розв'язання задач, перелік посилань, зміст.

Після виконання робота розміщується у системі MOODLE, у відповідних папках. Оцінювання відбувається наступним чином: своєчасне та правильне виконання – 10 балів, захист – 6 балів. В разі своєчасного виконання РГР, але з помилками або порушенням вимог щодо оформлення, при оцінці роботи з максимальної оцінки віднімається по 1 балу за кожен помилку у відповіді чи оформленні. РГР повертається на доопрацювання, а оцінка при першій перевірці є остаточною. Несвоєчасне виконання РГР оцінюється в 0 балів. Захист відбувається через систему MOODLE за тематичним матеріалом викладеним в роботі. При відсутності відповіді чи невірній відповіді оцінюється в 0 балів. Отримані бали включаються в загальну семестрову оцінку з курсу БЖД з переводом в національну систему оцінювання та європейську кредитно-трансфертну систему (ECTS).

#### Варіант 1

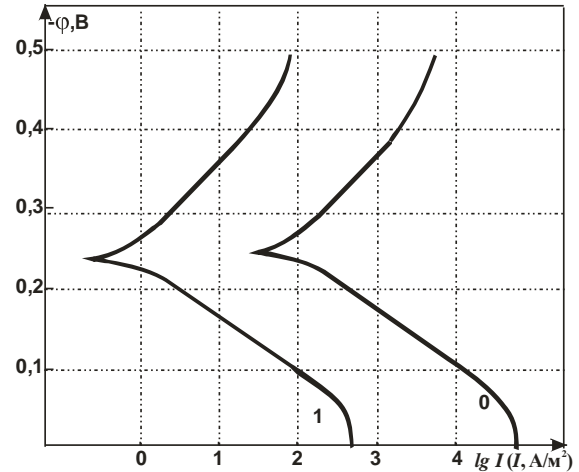
1. До якого типу корозії відноситься воднева корозія? Яка термодинамічна

ймовірність водневої корозії за участю оксиду Fe(III) при стандартній температурі? Відповідь аргументуйте розрахунком  $\Delta G^\circ$ .

- Опишіть парціальні процеси корозії сталі 20 у розбавленій HCl. Які зміни відбудуться, якщо сталевий виріб контактує з мідним дротом?
- Які ознаки корозійно-втомного руйнування металу?
- Як установити за якісним складом робочого середовища (де працює сталевий виріб), що корозія не відбувається.

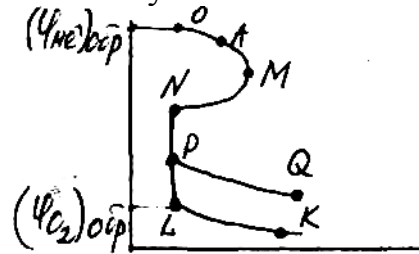
- По  $\phi, i$ -кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (pH=1) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



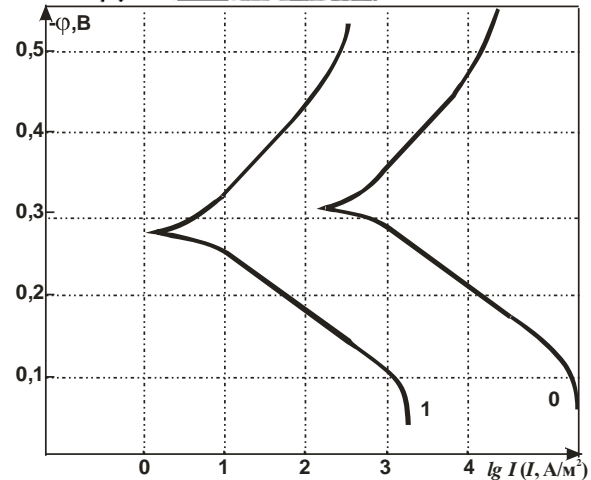
### Варіант 2

- Чи можлива хімічна корозія в електролітах? Відповідь аргументуйте.
- Металевий виріб, що працює у вологому повітрі, нерівномірно нагрівається. Який це вид корозії? Опишіть процеси, що відбуваються в цьому випадку.
- Які ознаки корозійного розтріскування металу?
- Що означає крива PQ на даній анодній поляризаційній кривій. Відповідь аргументуйте.



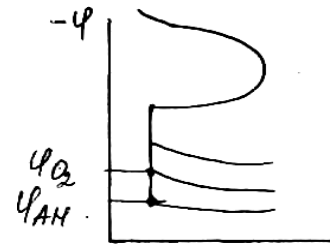
- По  $\phi, i$ -кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (pH=1) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

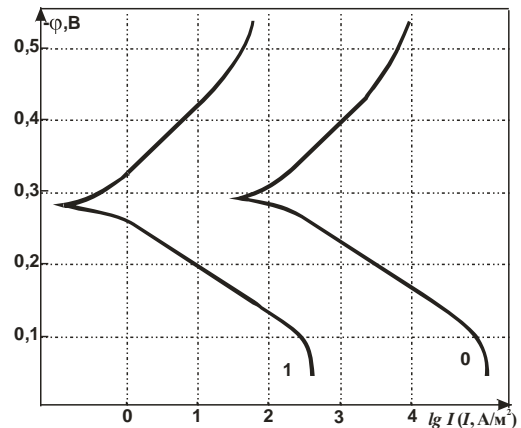


### Варіант 3

1. Що таке воднева хвороба міді? Опишіть корозійний процес. Як запобігти цьому виду корозії?
2. Чи можлива корозія цинку в підкисленому  $H_2SO_4$  розчині окислювача - дихромату калію ( $K_2Cr_2O_7$ ). Відповідь аргументуйте розрахунком величини  $\Delta\phi^\circ$ , константи рівноваги. Який це вид корозії?
3. Які ознаки сульфідного розтріскування сталі?
4. Відзначте на анодній поляризаційній кривій ділянку транспасивації. Що це за явище, із чим воно пов'язане. Як його запобігти?

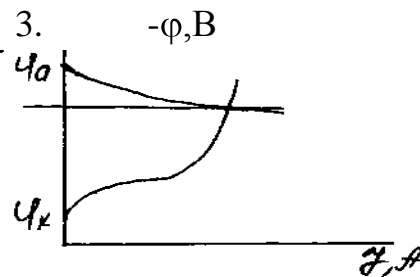


5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z. Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

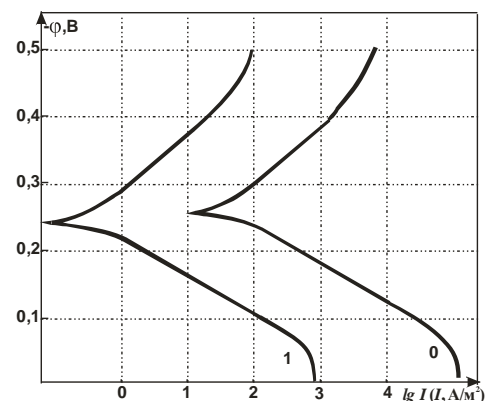


#### Варіант 4

1. Чим відрізняються жаростійкі сплави від жароміцних. Відповідь аргументуйте й наведіть приклади.
2. Металевий виріб нерівномірно аерується при експлуатації в ґрунті. Який це вид корозії? Опишіть корозійний процес.
3. Яке із середовищ найбільш агресивне для сталі: а)  $H_2S$ -вмісне,  $pH = 7,0$ ; б)  $pH = 7,0$  без  $H_2S$ ; в) лужне середовище ( $pH > 7$ ). Відповідь аргументуйте.
4. З яким контролем відбувається процес ґрунтової корозії, якщо корозійна діаграма має вигляд: Наведіть приклади, які методи захисту від корозії в цьому випадку?



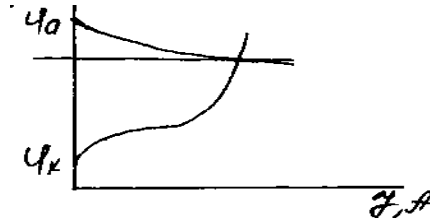
5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z. Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



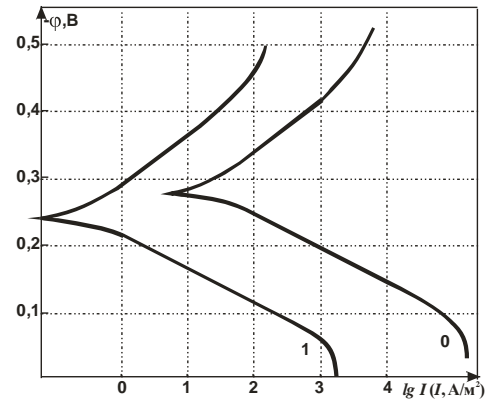


### Варіант 5

1. До якого виду належить метанова корозія, які її термодинамічні й кінетичні особливості?
2. Опишіть процес корозії цинку в середовищі,  $pH > 7$ . Як змінюються парціальні процеси корозії при  $pH = 7$ .
3. Яку роль грають пітинги в корозійно-механічному руйнуванні сталі? Наведіть приклади.
4. Який контролюючий фактор атмосферної корозії відповідно до корозійної поляризаційної діаграми. Наведіть приклад, коли вона має місце й методи захисту.

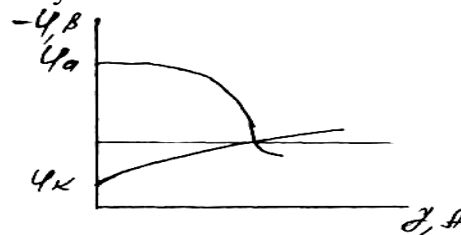


5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $b_k$ ;  $b_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування доли хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .  
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



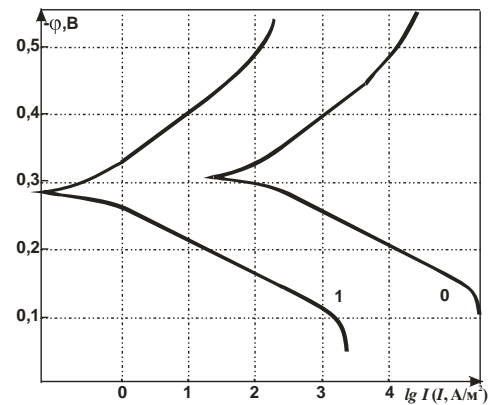
### Варіант 6

1. Які закономірності утворення оксидних плівок на сталі? У якому випадку вони відіграють захисну роль у процесі газової корозії? Який це вид корозії?
2. Які особливості сірководневої корозії? Від чого залежить інтенсивність парціальних електродних процесів?
3. Що таке статична й циклічна втома? Які сталі піддаються цим видам корозійно-механічних руйнувань і в яких умовах?
4. Який контролюючий фактор атмосферної корозії відповідно до корозійної поляризаційної діаграми. Наведіть приклад. Які методи захисту в цьому випадку.



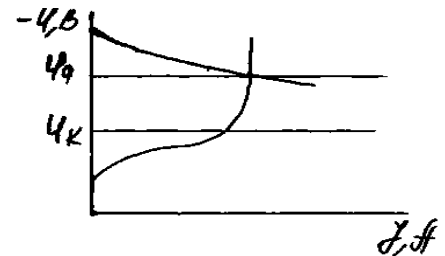
5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



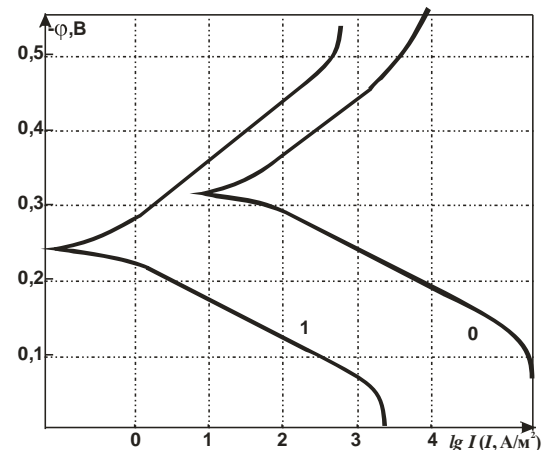
#### Варіант 7

1. Наведіть приклади хімічної корозії в рідких середовищах? Які фактори підсилюють її?
2. Опишіть парціальні електродні реакції нікелю в контакті з міддю в морській воді.
3. Що таке витривалість металевого матеріалу? Які методи підвищення його?
4. Який контролюючий фактор ґрунтової корозії по корозійній поляризаційній діаграмі? Способи захисту. Наведіть приклад.



5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

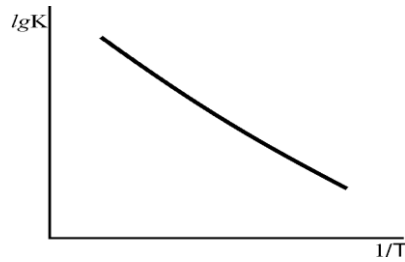
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



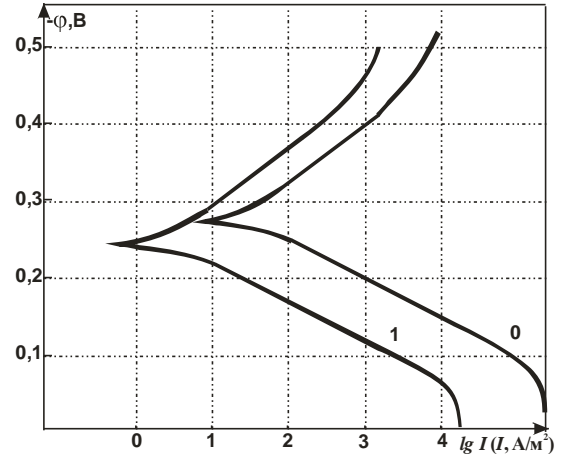
#### Варіант 8

1. Які основні фактори впливають на термодинаміку й кінетику хімічної корозії?
2. Опишіть парціальні електродні процеси сталевого виробу в контакті з Mg-Al-сплавом, при рН = 7.
3. Що таке тривала міцність? Способи її підвищення.

4. Як визначити енергію активації процесу корозії. Що вона характеризує?



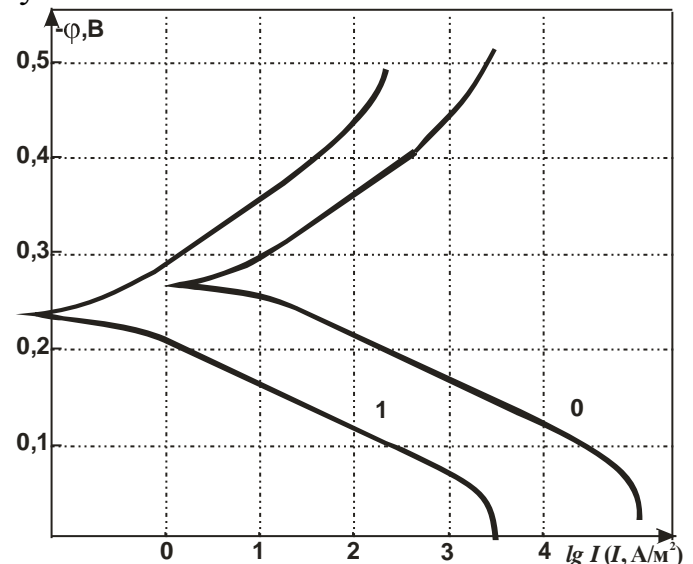
5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z. Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



#### Варіант 9

1. Які основні методи підвищення жаростійкості сталі?
2. Опишіть парціальні процеси корозії титану в розбавленій сірчаній кислоті.
3. Що таке воднева крихкість металу? Які метали найбільш стійкі, та найменш стійкі до водню?
4. Наведіть діаграму Пурбе для цинку. Опишіть її.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z. Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



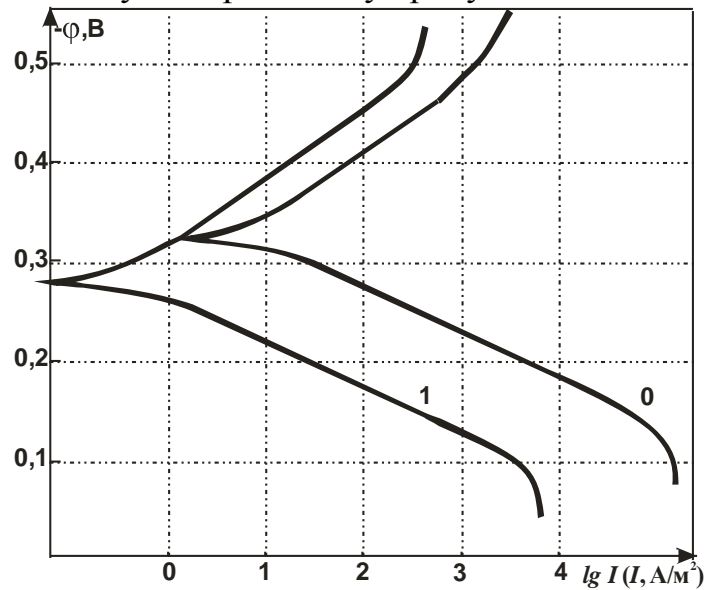
#### Варіант 10

1. Як підвищити жароміцність сталі. Наведіть приклади жароміцних матеріалів.
2. Опишіть процеси корозії сталі в присутності Mg- Zn протектору. Як називається цей метод захисту.
3. Що таке малоциклова корозійна втома? Основні методи захисту.

4. Зобразіть й опишіть узагальнену катодну поляризаційну криву.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без  $I_n$ , 1 - з  $I_n$ ) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .

Які висновки можна зробити по ефективності  $I_n$  за цією схемою?



Варіант 11

1. Опишіть випадки корозії в неелектролітах.

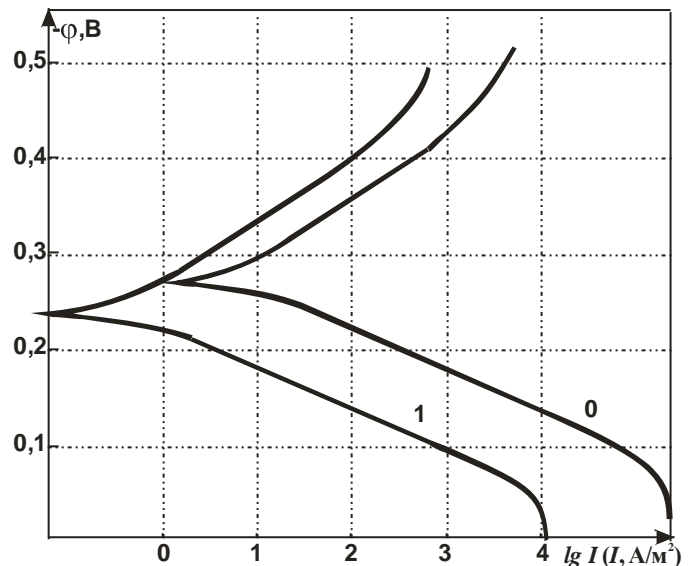
2. Які парціальні процеси корозії сталі в морській воді? Чим відрізняються вони в сильнолужному середовищі?

3. Які фактори обумовлюють посилення корозійного розтріскування металовиробів?

4. Зобразіть й поясніть графічну залежність швидкості корозії амфотерних  $Me$  від  $pH$ .

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без  $I_n$ , 1 - з  $I_n$ ) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .

Які висновки можна зробити по ефективності  $I_n$  за цією схемою?



Варіант 12

1. Опишіть приклади водневої корозії кольорових металів. Які способи її запобігання?

2. Парціальні процеси корозії заліза в контакті з кадмієм у морській воді.

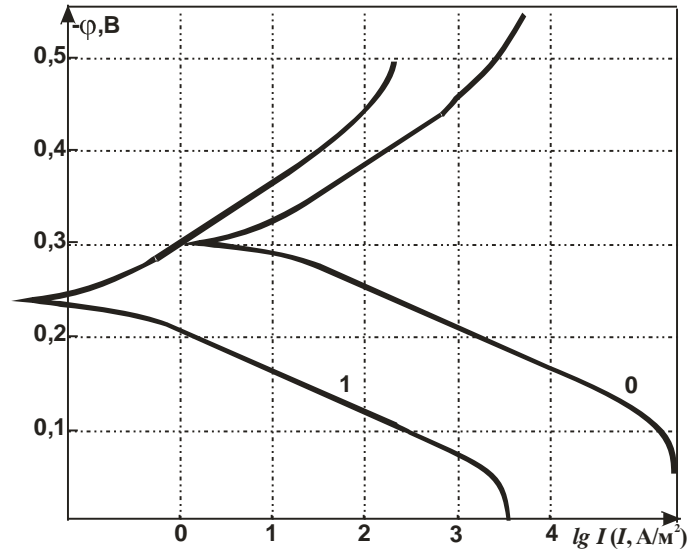
3. Що таке малоциклова корозійна й малоциклова воднева втома? Методи захисту.

4. Зобразіть й поясніть графічну залежність швидкості корозії  $Ta, Mo, W$

від рН.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

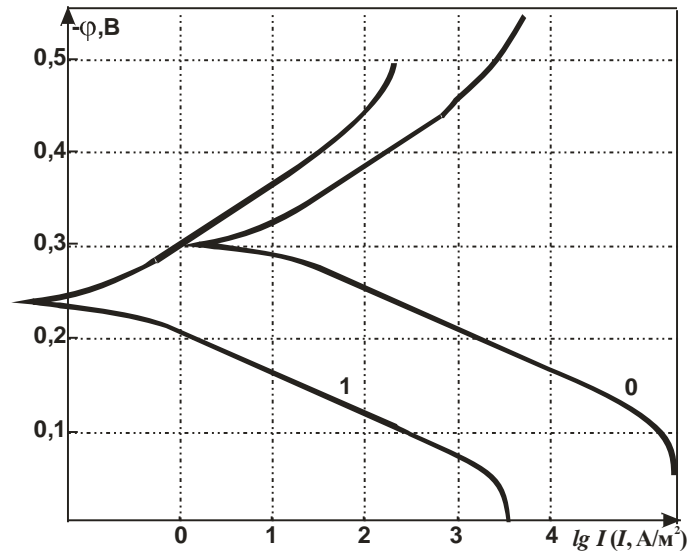


Варіант 13

1. Способи захисту від водневої корозії легованих сталей.
2. Опишіть процеси корозії міді в аміачному середовищі.
3. Що таке міжкристалітна корозія, коли вона має місце? Методи захисту.
4. Зобразіть й опишіть графічну залежність швидкості корозії Ni, Co, Cd від рН.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

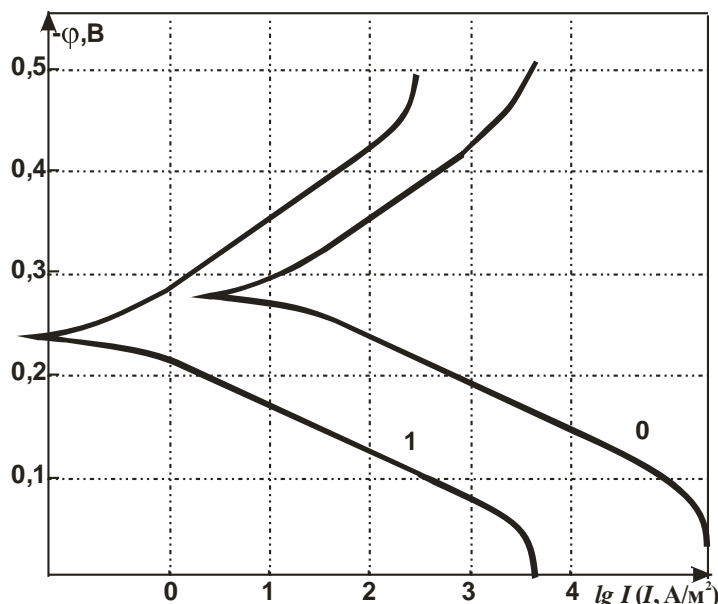
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



Варіант 14

1. Опишіть випадки хімічної корозії сплавів на основі заліза.
2. Парціальні процеси корозії сталі в контакт з міддю у водопровідній воді.
3. Які способи захисту зварних з'єднань сталі від корозійно-механічних руйнувань.
4. Зобразіть діаграму Пурбе для Fe.

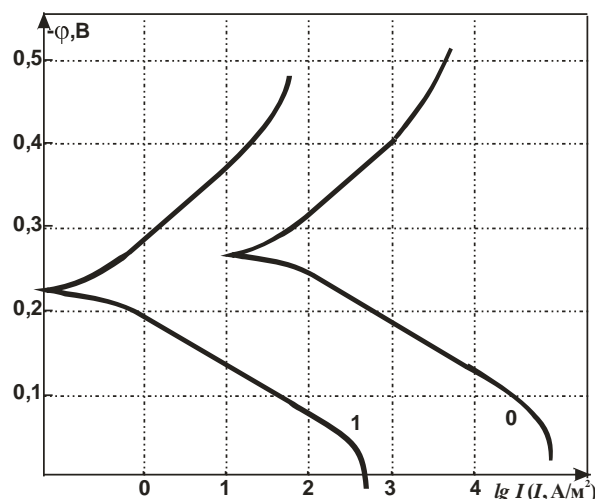
5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без  $I_n$ , 1 - з  $I_n$ ) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .  
Які висновки можна зробити по ефективності  $I_n$  за цією схемою?



Варіант 15

1. Визначити, яка термодинамічна вірогідність водневої корозії сталі з катодними домішками – Cu за участю сульфідів  $CuS$ ? Відповідь аргументуйте розрахунком константи рівноваги.
2. Охарактеризувати фактори впливу на електрокорозію сталі? Навести приклади.
3. Проаналізувати стимулювання корозії в сірководневих середовищах? Відповідь аргументуйте катодними і анодними процесами  $H_2S$ - корозії.
4. Проаналізувати доцільність використання Zn-протектору у кислому середовищі.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без  $I_n$ , 1 - з  $I_n$ ) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .  
Які висновки можна зробити по ефективності  $I_n$  за цією схемою?



Варіант №16

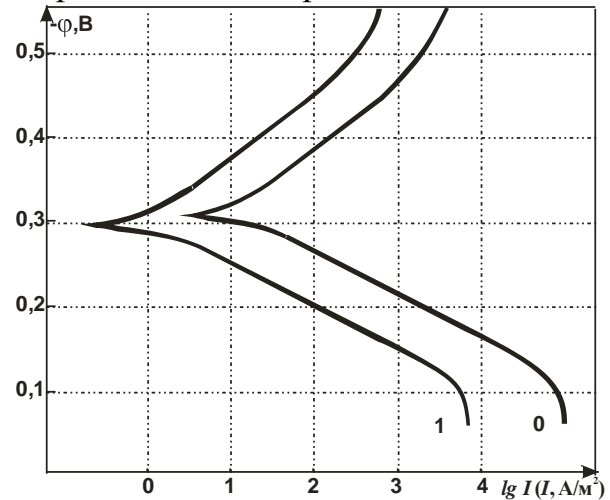
1. Яка термодинамічна вірогідність водневої корозії за участю цементиту при стандартній температурі? Відповідь аргументуйте розрахунком енергії Гіббса.
2. Що таке корозійне розтріскування металовиробів? В яких середовищах воно найбільш небезпечно? Наведіть приклади.

3. Запишіть парціальні корозійні процеси сталевих деталей, що працюють у сирому приміщенні ( $W \approx 95\%$ ). Запропонуйте методи захисту.

4. Які методи захисту металовиробів в сірководневих середовищах?

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $b_k$ ;  $b_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

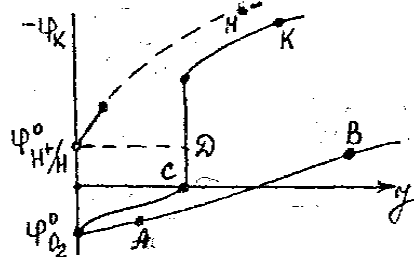


### Варіант №17

1. Яка термодинамічна вірогідність кислотної корозії сталі за участю неметалічних включень – сульфідів марганцю при стандартній температурі? Відповідь аргументуйте розрахунком константи рівноваги.

2. Що таке статична втома? Тривала міцність? В яких умовах металовироби не піддаються статичній втомі?

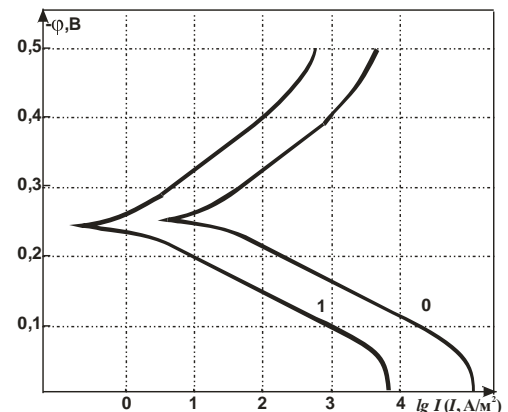
3. Опишіть узагальнену катодну поляризаційну криву, а також аргументуйте інші криві на схемі та їх ділянки.



4. Які методи захисту сталі від водневої корозії?

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $b_k$ ;  $b_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

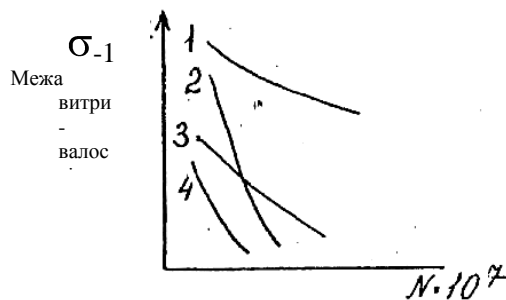


### Варіант №18

1. Яка термодинамічна вірогідність водневої корозії за участю оксиду заліза (III) при стандартній температурі? Відповідь аргументуйте розрахунком константи рівноваги.

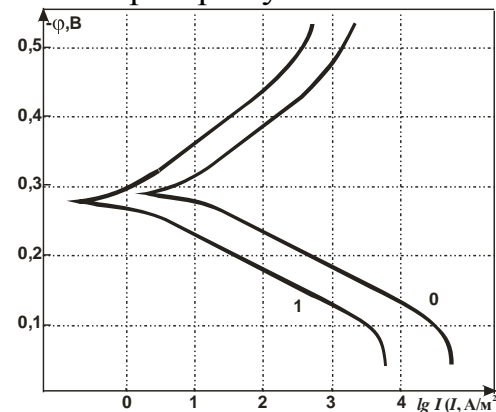
2. Що таке циклічна втома, циклічна міцність, витривалість? Які сталі піддаються цим корозійно - механічним руйнуванням і в яких умовах.

3. Поясніть графічну залежність  $N=f(\sigma_{-1})$  та орієнтовно визначить можливі середовища 2 – 4, якщо 1 – повітря.



4. Які методи захисту металовиробів від корозійного розтріскування?

5 По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4;$   $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z. Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?

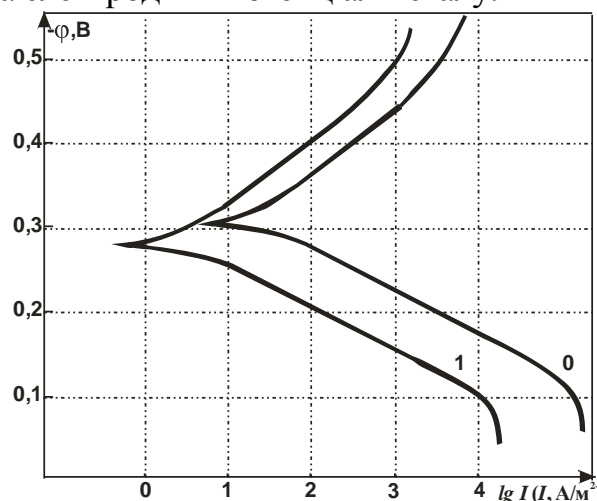


### Варіант №19

1. Яка термодинамічна вірогідність водневої хвороби міді за участю оксидів Cu (II)? Відповідь аргументуйте розрахунком енергії Гіббса.
2. Що таке лужна крихкість сталі Чим вона пояснюється для пластичних, міцних сталей?
3. Відомо, що для Me:  $\varphi_{mn} = +1.4V$ ,  $\varphi_{nn} = +0.9V$ . В якому стані буде знаходитися метал, якщо встановлено, що його  $\varphi$  в робочому розчині:  $\varphi = +1,65V$ ?
4. Проаналізуйте вплив легуючих елементів на електродний потенціал металу.

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4;$   $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант №20

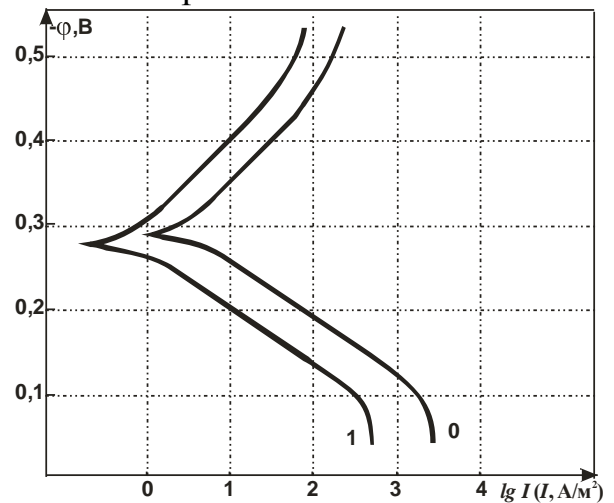
1. Яка термодинамічна вірогідність водневої корозії сталі з катодними домішками – Cu за участю сульфідів CuS? Відповідь аргументуйте розрахунком константи рівноваги.



- Що таке пітинги? В чому полягає їх небезпечність для тонких листових металічних матеріалів в нейтральних середовищах?
- Наведіть графічну залежність швидкості корозії  $i_c$  від  $pH$  ( $k=f\ pH$ ) для групи металів: 1) Au, Pt; 2) Fe, Mn; 3) W, Mo; 4) Ni, Co; 5) Al, Zn, та поясніть її.
- Які методи захисту від водневої крихкості металовиробів?

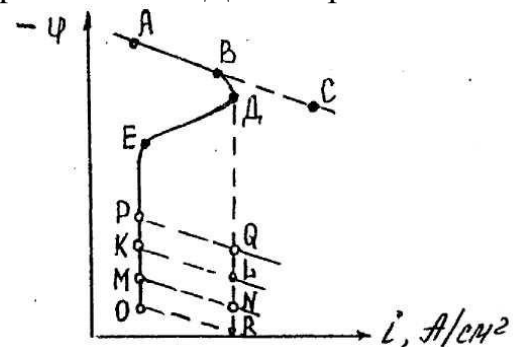
5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант № 21

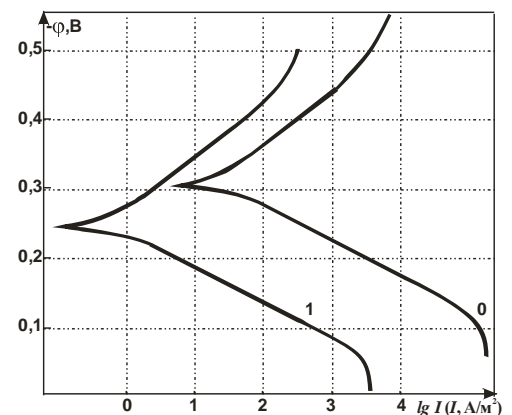
- Як пояснити стимулювання корозії в сірководневих середовищах? Відповідь аргументуйте катодними і анодними процесами  $H_2S$ -корозії.
- Які фактори впливають на електрокорозію сталі? Дайте приклади.
- Дайте пояснення до узагальненої схеми анодної поляризаційної кривої, її окремих ділянок.



- Які методи захисту від окислення металу при високих T? Як називається цей вид корозії?

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

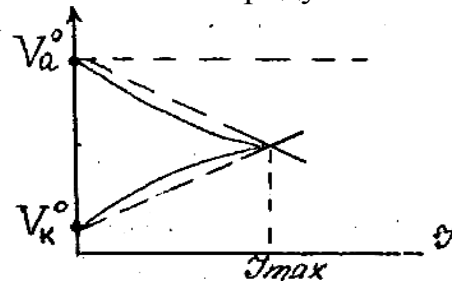
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант № 22

- Що таке потенціал нульового заряду? Що він характеризує? Як його визначають? Дайте приклади.

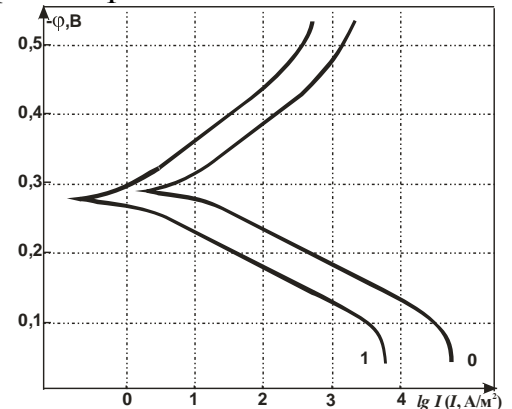
- Запишіть процеси кисневої деполаризації в кислому і нейтральному середовищі. Як визначити потенціал кисневого електроду?
- Що таке ступінь анодного контролю, коефіцієнт пасивності. Поясніть ці величини за допомогою рисунка.



- Які методи захисту металовиробів від атмосферної корозії?

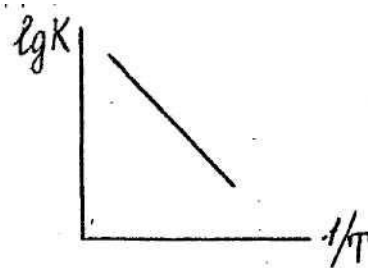
- По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування доли хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



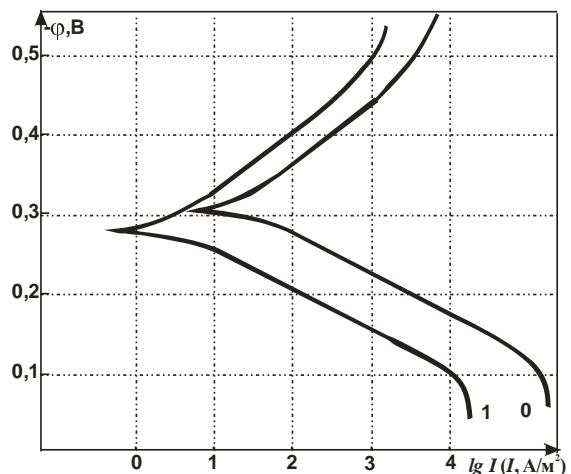
#### Варіант № 23

- Які хімічні процеси проходять під час біокорозії під дією тіобактерій?
- Поясніть в чому суть міжкристалічної корозії (МКК). Які сталі піддаються їй? Як запобігти МКК?
- Як визначити енергію активації корозії? Які величини  $E_{акт}$  характерні для кінетичного контролю, дифузійного контролю корозії? Наведіть приклади.



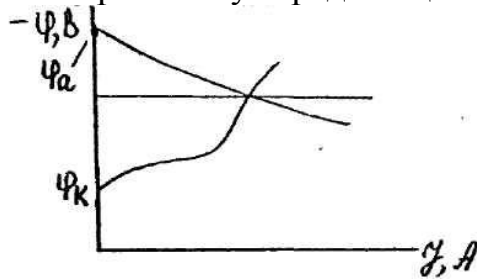
- Що таке анодний захист металовиробів?
- По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування доли хімічного механізму ( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



#### Варіант № 24

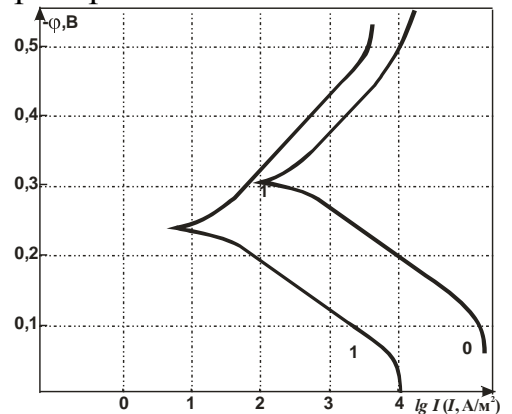
1. Встановлено, що область пасивності сталі:  $\varphi_{\text{пн}}=+0,2$ ,  $\varphi_{\text{пт}}=+0,6\text{В}$ . Чи буде пасивним метал, якщо потенціал  $\text{Me}$ , визначений в даному середовищі складає  $+0,1\text{В}$ ?
2. В чому полягають особливості корозії в нейтральному середовищі?
3. З яким контролем протікає ґрунтова корозія за наведеною схемою. Дайте приклади.



4. Які методи захисту металоконструкцій від електрокорозії?

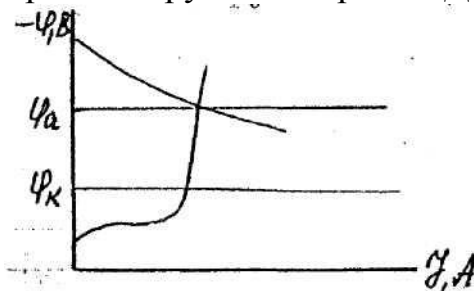
5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без  $I_n$ , 1 - з  $I_n$ ) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $\text{pH}=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{\text{Me}}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .

Які висновки можна зробити по ефективності  $I_n$  за цією схемою?



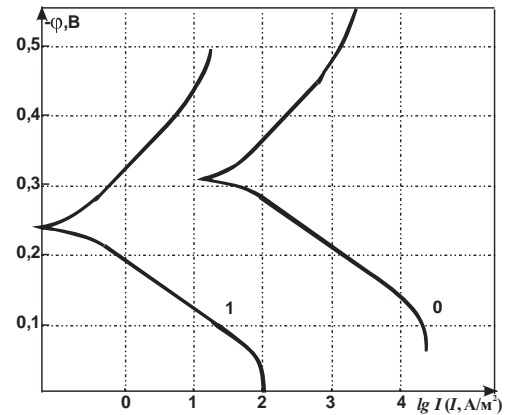
### Варіант № 25

1. Як залежить час до розтріскування в агресивному середовищі від величини зовні прикладених напружень розтягу?
2. Які особливості кислотної корозії металовиробів?
3. З яким контролем протікає ґрунтова корозія? Дайте приклади.



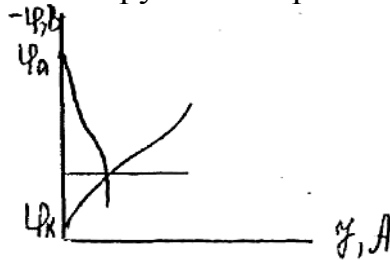
4. Які методи захисту від корозійної втоми металовиробів?

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $b_k$ ;  $b_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.  
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



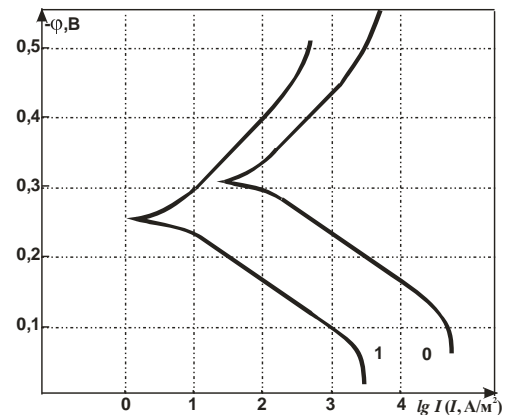
### Варіант № 26

1. Дайте приклади хімічної корозії металовиробів у неелектролітах?
2. Основні фактори впливу на швидкість корозії? Дайте приклади.
3. З яким контролем протікає ґрунтова корозія за наведеною схемою?



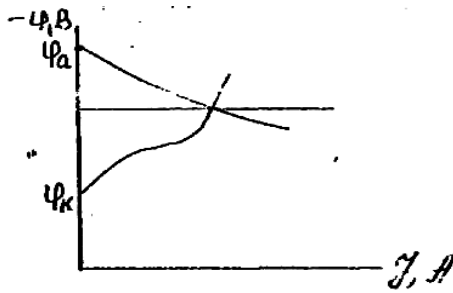
4. Які методи захисту від біокорозії, від обростання металоконструкцій у морській воді?

5. По  $\varphi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому ( $pH=1$ ) середовищі визначити:  $\varphi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $b_k$ ;  $b_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.  
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант №27

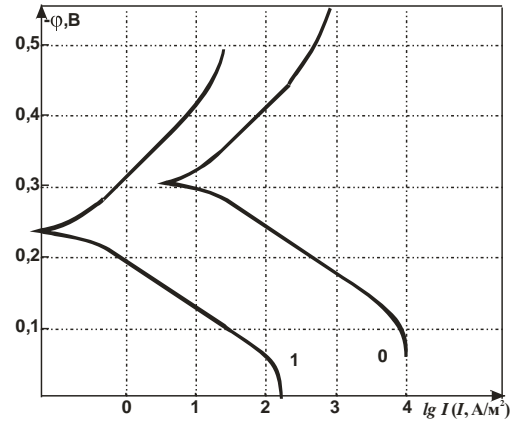
1. Які парціальні процеси корозії сталі в контакті з нікелевим покриттям в середовищі з  $pH = 7$ ?
2. Як діагностувати ознаки корозійного розтріскування, корозійної втоми?
3. З яким контролем проходить атмосферна корозія?



4. Методи підвищення витривалості металовиробів?

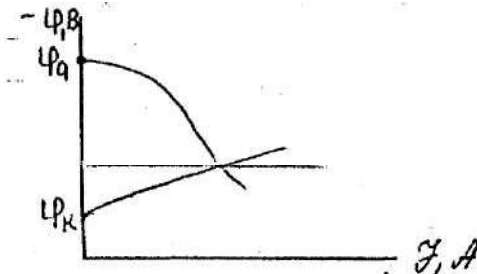
5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант №28

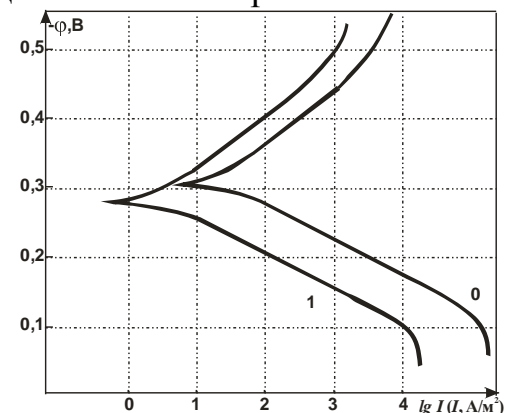
1. Опишіть парціальні електродні реакції нікелю в контакті з міддю у морській воді.
2. Які основні фактори впливають на термодинаміку, кінетику хімічної корозії?
3. З яким контролем протікає атмосферна корозія.



4. Проаналізуйте методи підвищення тривалої міцності металовиробів?

5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c$ ;  $i_c$ ;  $i_a$ ;  $i_k$ ;  $a_k$ ;  $a_a$ ;  $v_k$ ;  $v_a$ ;  $i_n^o$ ;  $i_{Me}^o$ ;  $\gamma_c$ ;  $\gamma_a$ ;  $\gamma_k$ ;  $\gamma_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\gamma_3$ ;  $\gamma_4$ ;  $\gamma$  - без врахування долі хімічного механізму ( $\gamma_x$ );  $Z$ .

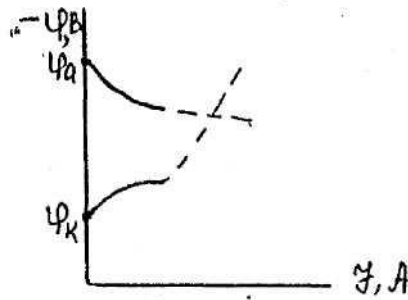
Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант №29

1. Проаналізуйте основні методи підвищення жаростійкості, жароміцності сталі? Дайте пояснення цим поняттям?
2. Чи кородує титан в розведеній соляній кислоті? Запишіть рівняння.

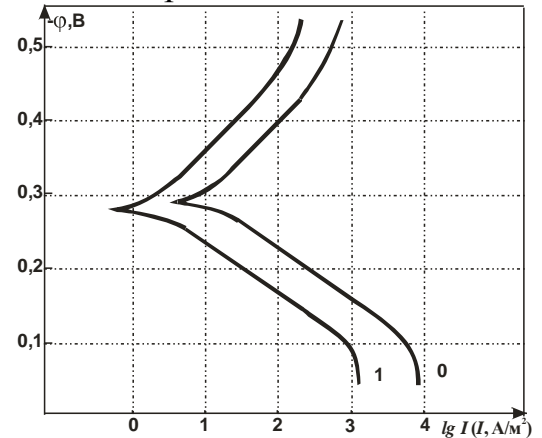
3. З яким контролем протікає атмосферна корозія?



4. Охарактеризуйте екологічні проблеми корозії металовиробів.

5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



### Варіант №30

1. Опишіть парціальні процеси корозії сталі 20 у розбавленій НСІ. Які зміни відбудуться, якщо сталевий виріб контактує з мідним дротом?

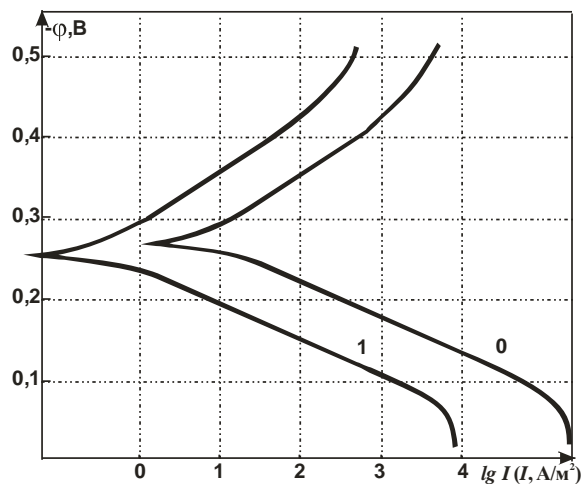
2. Як установити наявність корозійного процесу при роботі сталевій конструкції в робочому середовищі (електроліті).

3. Проаналізувати в чому полягає небезпечність пітингів для тонких листових металічних матеріалів в нейтральних середовищах?

4. Як визначити наявність сульфідів Fe (Mg) у сталі? Які способи захисту від сірководневої корозії.

5. По  $\phi, i$ - кривих, (0 - без Ін, 1 - з Ін) знятих на сталі 20 в інгібованому кислому (рН=1) середовищі визначити:  $\phi_c; i_c; i_a; i_k; a_k; a_a; v_k; v_a; i_n^o; i_{Me}^o; \gamma_c; \gamma_a; \gamma_k; \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \gamma_4; \gamma$  - без врахування долі хімічного механізму( $\gamma_x$ ); Z.

Які висновки можна зробити по ефективності Ін за цією схемою?



## Рекомендована література

### Основна

1. Кондращенко О.В. Корозія і захист матеріалів та конструкцій. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 124 с.
2. В. І. Алімов, З. А. Дурягіна. Корозія та захист металів від корозії. Донецьк-Львів: ТОВ "Східний видавничий дім". — 2012. — 328 с.
3. П. М. Сопрунюк, В. М. Юзевич. Діагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів. — Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, вид-во «СПОЛОМ». — 2005. — 292 с.
4. Хімічні основи корозії конструкційних матеріалів /С.І. Козак, М.Г. Котур, М.В. Никипанчук, В.В. Григораши. – Львів: Ліга-Прес, 2001. – 240с.
5. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов.- М.: Металлургия, 1981.-216с.
6. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов.-М.: Металлургия, 1976. -472с.
7. ISO 7539. Corrosion of metals and alloys. Stress corrosion testing. Part1-9.
8. NACE Standard TM 0198-1998. Standard Test Method Slow Strain Rate Test Method for Screening Corrosion-Resistant Alloys (CRAs) for Stress Corrosion Cracking in Sour Oilfield Service.
9. NACE Standard TM 0284-2003. Standard Test Method Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking.
10. NACE Standard TM 0177-2005. Standard Test Method Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking in Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) Environments.

### Допоміжна

Иванов Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах - М.: Металлургия, 1986.-175с.

### 16 Інформаційні ресурси

- 1 Система дистанційного навчання ЧНТУ. Курс: Корозія і захист від корозії. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eln.stu.cn.ua/>
- 2 ISO 7539. Corrosion of metals and alloys. Stress corrosion testing. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.iso.org/standard/34209.html>
- 3 Stress corrosion cracking—A new approach to testing methods. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02537548>

## ДОДАТОК

### Основні поняття та визначення

**Анод** – електрод, на якому відбувається процес окиснення.

**Анодна ділянка металу** – ділянка поверхні металевого виробу, на якому відбувається окиснювання металу.

**Анодний захист** – анодна поляризація металу шляхом зсуву його потенціалу в область пасивності. При цьому виріб, що захищається, приєднують до позитивного полюса джерела струму, а допоміжний електрод (катод) – до негативного.

**Анодні інгібітори** – речовини, які пасивують анодні ділянки металу. Найчастіше це неорганічні окислювачі – хромати, нітрати, нітрити, молібдати, вольфрамати.

**Анодні покриття** – металеві покриття, що мають більше негативний електродний потенціал у порівнянні з потенціалом металу, що захищається.

**Атмосферна корозія** – корозія металів в умовах природної атмосфери. Відбувається на поверхні металу, покритого тонкою плівкою вологи майже завжди з кисневою деполяризацією.

**Біологічна корозія** – корозія в результаті дії мікроорганізмів і продуктів їхньої життєдіяльності.

**Воднева деполяризація** – деполяризація, у якій роль деполяризатора виконують йони водню.

**Газова корозія** – корозія металів у газовому середовищі при високих температурах.

**Грунтова корозія** – корозія металевих виробів, експлуатованих у ґрунті. На швидкість ґрунтової корозії впливають: вологість, пористість ґрунту, його неоднорідність, вміст солей, кислотність, електропровідність ґрунту, наявність мікроорганізмів.

**Густина струму** – відношення сили струму до величини поверхні електроду.

**Деполяризатор** – частинка, що відновлюється на поверхні катоду в процесі електрохімічної корозії.

**Діаграми Пурбе** – діаграми стану системи «метал – вода» у координатах «електродний потенціал – рН».

**Електродний потенціал** – різниця потенціалів між металом і розчином електроліту, у який занурено метал.

**Електрорушійна сила гальванічного елемента** – різниця потенціалів між катодними й анодними ділянками кородуючого металу за умови рівноваги електродних процесів.

**Електрохімічна корозія металів** – самодовільне руйнування металів внаслідок електрохімічної взаємодії з навколишнім електропровідним середовищем.

**Електрохімічний захист** – сутність електрохімічних методів захисту – піддати виріб поляризації. Залежно від знаку поляризації розрізняють катодний (у тому числі протекторний) захист і анодний захист.

**Електрохімічні дослідження корозії** – дослідження електродних процесів й електричних параметрів електрохімічної корозії. Вони дозволяють одержати дані, що характеризують механізм корозійного процесу, визначити контролюючий (лімітуючий) фактор, а також швидкість окиснення металу.



Основний метод електрохімічних досліджень – зйомка поляризаційних кривих, яку можна здійснити гальваностатичним або потенціостатичним способом.

**Жароміцність** – здатність металу зберігати при високих температурах досить високі механічні властивості: тривалу міцність й опір повзучості.

**Жаростійкість** – здатність металу опиратися корозійному впливу при високих температурах.

**Інгібітори корозії** – речовини, що сповільнюють корозію. Їх вводяться в невеликих кількостях у робоче середовище.

**Йони-активатори корозії** – йони, присутність яких у навколишнім середовищі прискорює процес корозії.

**Йони-інгібітори корозії** – йони, присутність яких у навколишнім середовищі сповільнює процес корозії.

**Катод** – електрод, на якому відбувається процес відновлення.

**Катодна деполяризація** – процес відновлення часток деполяризатора на катодній поверхні металевого виробу.

**Катодний захист** – катодна поляризація металу, що захищається, шляхом приєднання негативного полюса зовнішнього джерела струму до конструкції, що захищається, а позитивного полюса – до допоміжного електроду – аноду (як анод застосовують лом чорних металів, відпрацьовані рейки, старі труби тощо).

**Катодні інгібітори** – речовини, що зменшують ефективність катодного процесу або зменшують площі катодних ділянок. Зниження ефективності катодного процесу досягається за рахунок зменшення концентрації розчиненого кисню в розчині (або підвищення перенапруги виділення водню).

**Катодні покриття** – металеві покриття, що мають більш позитивний електродний потенціал у порівнянні з потенціалом металу, що захищається.

**Киснева деполяризація** – деполяризація, у якій роль деполяризатора виконують молекули кисню в присутності води.

**Корозійна втома** – руйнування металу при одночасній дії корозійного середовища й змінних механічних навантажень.

**Корозійне розтріскування** – результат впливу корозійного середовища й напруг, що розтягують.

**Корозійні діаграми** – діаграми, на яких графічно відбита кінетика катодного й анодного процесів.

**Корозійні дослідження й випробування** – дослідження процесів корозії для рішення різноманітних теоретичних і прикладних завдань. За характером організації всі методи корозійних досліджень і випробувань можна розподілити на три основні групи: лабораторні методи, польові випробування, натурні випробування.

**Корозійно-механічні випробування** – випробування на корозію під механічною напругою проводять по двох можливих схемах: при постійній механічній напрузі й при постійній деформації. Принципи створення напруг і деформації можуть бути різними. Оцінку результатів випробувань поводять за часом розтріскування або повного руйнування.

**Корозія під дією блукаючих струмів** – корозія в результаті витоку струму з металевого виробу в навколишнє середовище.

**Лабораторні методи корозійних випробувань** – прискорені дослідження спеціально приготовлених зразків у штучно створених умовах корозії. Лабораторні дослідження є прискореними.

**Лакофарбові покриття** – лаки (колоїдні розчини масел, що висихають) і фарби (суспензія мінеральних пігментів в органічному плівкоутворювачі). У їх склад входять також розріджувачі, наповнювачі.

**Легування** – ведення до складу сплаву компонентів (найчастіше металевих), що поліпшують одне або кілька корисних якостей сплаву.

**Металеві покриття** – покриття основного металу іншим металом. За механізмом дії металеві покриття поділяються на катодні й анодні. Найважливіший спосіб нанесення металевих покриттів – гальванічний.

**Морська корозія** – корозія в умовах морської води. Найнебезпечніші фактори морської корозії – висока солоність (і, таким чином, і висока електропровідність) морської води, наявність іонів хлору, розчиненого кисню, мікроорганізмів, обростання. Сама небезпечна ділянка корпусу судна – ватерлінія й трохи вище неї.

**Неметалеві покриття** – покриття з неметалевих матеріалів. До них відносяться: неорганічні покриття, лакофарбові покриття, смоли й пластмаси, емалі.

**Обробка розчинів електролітів** – зменшення концентрації деполаризатора (досягається нейтралізацією кислих розчинів або видаленням кисню) і введення в нього інгібіторів корозії.

**Оксидування** – процес штучного створення оксидних покриттів. Розрізняють оксидування хімічне, термічне й електрохімічне.

**Пасивність металу** – стан високої корозійної стійкості металів, викликаний гальмуванням анодної реакції.

**Перенапряга** – різниця між рівноважним і нерівноважним потенціалами електроду.

**Поляризація електрода** – явище відхилення потенціалу електроду від його рівноважного значення.

**Поляризаційний опір** – відношення величини поляризації до густини корозійного струму; поляризованість відіграє роль електричного опору на ділянці ланцюга.

**Потенціал пасивації (Фладе-потенціал)** – зовнішній потенціал на аноді, накладення якого призводить до початку формування пасивного стану.

**Потенціал перепасивації** – зовнішній потенціал на аноді, накладення якого призводить до зняття пасивного стану, як правило, у результаті утворення йонів з максимальним ступенем окиснення.

**Протекторний захист** – катодна поляризація виробу, що захищається; досягається використанням в якості аноду металу з більше негативним електродним потенціалом, чим метал, що захищається. Як матеріал протекторів використовують алюміній, магній, цинк або сплави на основі цих металів.

**Стандартний електродний потенціал** – електродний потенціал, вимірюваний у стандартних умовах відносно стандартного водневого електроду, потенціал якого умовно дорівнює нулю вольт.

**Хімічна корозія** – корозія, що не супроводжується виникненням електричного струму в тілі металу. При хімічній корозії окислювальновідновний процес відбувається в одному акті.