

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Корозія та захист матеріалів»  
для студентів усіх спеціальностей усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Корозія та захист матеріалів» для студентів усіх спеціальностей усіх форм навчання / Укл.: О.Ю. Воскобойнік, Ю.Ю. Петруша, В.М. Повзло, І.М. Сохрякова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 34 с.

Укладачі: Олексій ВОСКОБОЙНІК, д.фарм.н., проф.  
Юлія ПЕТРУША, к.б.н., доцент  
Валентина ПОВЗЛО, ст. викладач  
Ірина СОХРЯКОВА, зав.лаб.

Рецензент: Олександр МІТЯЄВ, д.т.н., проф.

Відповідальний за випуск: Валентина ПОВЗЛО, ст. викладач

Затверджено  
на засіданні  
НМК ФБАД  
Протокол № 1  
від «11» вересня 2025 р.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Композиційні матеріали, хімія та  
технології»  
Протокол № 2  
від «25» серпня 2025 р.

**ЗМІСТ**

|   |      |
|---|------|
| <i>Вступ</i> .....  | с.4  |
| <i>Лабораторна робота № 1</i>   |      |
| Гравіметричний аналіз швидкості корозії .....                                 | с.5  |
| <i>Лабораторна робота № 2</i>   |      |
| Волюмометричний аналіз швидкості корозії .....                                | с.8  |
| <i>Лабораторна робота № 3</i>   |      |
| Використання кольорових індикаторів при вивченні<br>корозійних процесів ..... | с.12 |
| <i>Лабораторна робота № 4</i>   |      |
| Електрохімічна природа корозійних процесів .....                              | с.15 |
| <i>Лабораторна робота № 5</i>   |      |
| Захист металу від корозії за допомогою інгібіторів .....                      | с.20 |
| <i>Лабораторна робота № 6</i>   |      |
| Інгібітори кислотної корозії .....  | с.22 |
| <i>Лабораторна робота № 7</i>   |      |
| Роль окисних плівок при захисті від корозії .....                             | с.25 |
| <i>Лабораторна робота № 8</i>   |      |
| Оксидування металів .....   | с.29 |
| Рекомендована література .....  | с.34 |

## ВСТУП

Методичні вказівки мають метою допомогти студентам технічних спеціальностей усіх форм навчання підготуватися до виконання лабораторних робіт з курсу «Корозія та захист матеріалів».

Методичні вказівки спрямовані на краще засвоєння теоретичного курсу, надання практичних навичок у виконанні досліджень, формування у студентів вміння планувати та виконувати науковий експеримент, виховання вміння аналізувати фактичний матеріал на теоретичній основі.

Внаслідок проведення лабораторних робіт студенти повинні знати основні теми теоретичного курсу, вміти виконувати досліджувальні експерименти, пояснювати явища, що мають місце у корозійних процесах; використовувати набуті знання при вивченні спеціальних предметів і в подальшій трудовій діяльності.

Кожна лабораторна робота виконується в аудиторії за схемою: настанови виконання роботи за темою, що вивчається, контроль знань студентів, виконання дослідів, захист звіту лабораторної роботи.

## Лабораторна робота №1

### ГРАВІМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ

**Мета роботи:** Опанувати найпростіший метод кількісного аналізу швидкості корозії.

#### 1.1 Загальні відомості

З позиції хімії процес корозії являє собою окислювально-відновну реакцію між металом та компонентом-окисником корозійного середовища. Метал відновник окислюється, втрачаючи електрони:



Електрони захоплюються окисником, а іони металу уносяться корозійним середовищем або утворюють відкладення малорозчинних продуктів корозії. Внаслідок цього метал поступово переходить з металічного стану в неметалічний (окислений) і руйнується.

Для оцінки швидкості руйнування та розрахунку терміну служби металічних конструкцій необхідно знати швидкість корозії конструкційного металу в умовах експлуатації. Найпростішим і розповсюдженим методом визначення швидкості корозії є гравіметричний (ваговий) метод, суть якого полягає у вимірюванні втрати маси зразка з відомою площею поверхні ( $S$ ), який знаходився в корозійному середовищі певний час ( $t$ ).

У випадку рівномірної корозії (однорідний метал, стала концентрація окислювача, відсутність захисних властивостей продуктів корозії) втрати металу, що припадають на одиницю площі поверхні на одиницю часу, є сталою величиною, що править за міру швидкості корозії:

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot t} \quad (1.1)$$

де  $K_m$  – ваговий показник швидкості корозії ( $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{годину})$ );

$m_1$  – маса зразка до дослідження;

$m_2$  – маса зразка після дослідження;

$S$  – площа поверхні зразка;

$t$  – час випробування.

При цьому швидкість корозії вимірюється шляхом зважування

зразка до і після нетривалого експерименту, час якого обирається достатнім, для отримання помітної зміни маси зразка. Якщо відома густина металу ( $\rho$ ), можна обчислити зменшення товщини металу за одиницю часу:

$$П = 8,76 \cdot \frac{K_m}{\rho} \quad (1.2)$$

де П – глибинний показник швидкості корозії (як правило, в мм/рік).

В тих випадках, коли швидкість корозії змінюється в часі, випробують серії однакових зразків, водночас помістивши їх в корозійне середовище, а потім виймаючи послідовно через певний час і зважуючи. Отримані результати використовують для визначення характеру залежності швидкості корозії від часу. Якщо корозійні пошкодження мають локальний характер (піттинг, міжкристалічна корозія і т.п.), застосовують інші методи аналізу, які дозволяють визначити глибину локальних пошкоджень.

### 1.2 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть гравіметричного (вагового) методу?
2. Як визначити швидкість руйнування корозією конструкційного металу в умовах експлуатації?
3. Напишіть рівняння корозійного руйнування вуглецевої сталі в розчині хлоридної кислоти?
4. Як визначити стійкість металу в корозійному середовищі за «Десятибальною шкалою стійкості»?

### 1.3 Прилади та реактиви

1. Розчин HCl (10%-вий).
2. Склянки хімічні (150 мл).
3. Пластмасові гачки.
4. Штангенциркуль.
5. Аналітичні терези.
6. Наждачний та фільтрувальний папір.
7. Зразки металу.

### 1.4. Вказівки з техніки безпеки

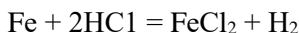
1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.

2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

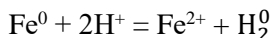
### 1.5 Порядок виконання роботи

Зразок металу, що досліджують, зачистити наждачним папером, обмити водою, просушити фільтрувальним папером і зважити на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г. За допомогою штангенциркулю визначити розміри зразка з точністю до 0,1 мм і обчислити площу, його поверхні ( $S$ ) та об'єм ( $V$ ), враховуючи отвір. Потім зразок знежирити розчинником, який є, і просушити. Налити в склянку 150 мл розчину кислоти і занурити зразок у розчин, використовуючи пластмасовий гачок. Зразок треба повністю занурити в розчин, але не торкатися дна та стінок склянки.

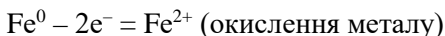
Якщо досліджується зразок вуглецевої сталі, а корозійне середовище – розчин хлороводневої кислоти, то перебіг процесу буде відповідати рівнянню:



Цю реакцію можна уявити в скороченій іонній формі:



а також у вигляді анодної та катодної напівреакцій:



Через 30 хвилин після занурення вийняти зразок із розчину, промити його водою, видалити за допомогою м'якої креслярської гумки продукти корозії з його поверхні, знову промити, просушити і зважити на аналітичних терезах. Обчислити ваговий та глибинний показники швидкості корозії за формулами (1.1) та (1.2), заздалегідь визначивши густину металу за формулою:

$$\rho = \frac{m_1}{V} \quad (1.3)$$

де  $V$  – об'єм зразка.

Визначити стійкість металу в даному середовищі за «Десятибальною школою стійкості» та вказати групу стійкості.

### 1.6 Зміст звіту

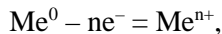
1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## Лабораторна робота №2 ВОЛЮМОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ

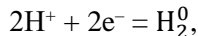
**Мета роботи:** Засвоїти найпростіший метод безперервного аналізу швидкості корозії.

### 2.1 Загальні відомості

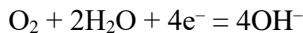
В корозійних процесах метал завжди виступає відновником, втрачає електрони і руйнується:



а окисником, в залежності від складу корозійного середовища, можуть бути різні речовини. Найчастіше окислення відбувається за рахунок іонів  $\text{H}^+$  або молекул розчиненого кисню  $\text{O}_2$ , який практично завжди присутній у воді та водних розчинах солей, кислот та лугів. Окислювальна здатність компонентів залежить від їх концентрації у розчині і хімічної активності металу. Відомо, що залізо в кислих розчинах піддається корозії переважно з відділенням водню:

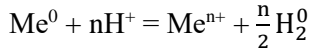


а в нейтральних та лужних добре аеруємих розчинах – за рахунок розчиненого кисню:



В першому випадку газ виділяється, а в другому – поглинається, але в обох випадках об'єм газу пропорційний кількості металу, що зруйновано корозією. На цьому ефекті побудовано волюмометричний

(об'ємний) метод аналізу, суть якого полягає у визначенні швидкості корозії шляхом вимірювання об'єму газу, що виділяється або поглинається в процесі корозії. Метод особливо простий і зручний, коли вивчається корозія з виділенням водню, об'єм якого легко виміряти за допомогою перекинутої бюретки, розташованої над зразком, що кородує. Розрахунки в цьому разі ведуть виходячи з реакції:



За «законом еквівалентів» співвідношення маси металу, що розчинився ( $m_{\text{Me}}$ ) до об'єму водню що виділився ( $V_{\text{H}}$ ) дорівнює співвідношенню еквівалентної маси металу  $E_{\text{Me}}$ , до еквівалентного об'єму водню,  $V_{\text{екв}} = 11200 \text{ см}^3$ :

$$\frac{m_{\text{Me}}}{V_{\text{H}_2}} = \frac{E_{\text{Me}}}{V_{\text{екв}}} \quad (2.1)$$

звідки:

$$m_{\text{Me}} = \frac{V_{\text{H}_2} \cdot E_{\text{Me}}}{V_{\text{екв}}} = \frac{V_{\text{H}_2} \cdot E_{\text{Me}}}{11200} \quad (2.2)$$

Еквівалентну масу певного металу визначають за формулою:

$$E_{\text{Me}} = \frac{A}{n} \quad (2.3)$$

де  $A$  – атомна вага металу ( $\text{г}$ );

$n$  – ступінь окислення іонів металу в розчині.

Значення еквівалентної маси сплаву можна приблизно визначити за формулою:

$$E_{\text{сплаву}} = \frac{N_1 \cdot A_1}{n_1} + \frac{N_2 \cdot A_2}{n_2} + \dots + \frac{N_i \cdot A_i}{n_i} \quad (2.4)$$

де  $N_i$  – вагова частина металу в сплаві.

Для точних розрахунків експериментально виміряний об'єм водню, що виділився ( $V_{\text{експ}}$ ), слід привести до «нормальних умов» ( $V_0$ ), скориставшись об'єднаним газовим законом:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_{\text{експ}} \cdot V_{\text{експ}}}{T_{\text{експ}}} \quad (2.5)$$

Звідки випливає:

$$V_0 = \frac{P_{\text{експ}} \cdot V_{\text{експ}} \cdot T_0}{T_{\text{експ}} \cdot P_0} = \frac{P_{\text{експ}} \cdot V_{\text{експ}} \cdot 273}{T_{\text{експ}} \cdot 760} \quad (2.6)$$

де  $P_{\text{експ}}$  і  $T_{\text{експ}}$  – тиск та температура під час експерименту.

Отримані значення ( $E_{\text{Me}}$ ) та ( $V_0$ ) підставляють в рівняння (2.2) і розраховують масу металу, що зруйновано корозією.

Окрім простоти експерименту, волюмометричний метод дозволяє отримати результати високої точності і можливість безперервно спостерігати кінетику корозійного процесу, не виймаючи зразок з розчину. Таким прийомом користуються, коли швидкість корозії з часом змінюється.

## 2.2 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть волю метричного методу?
2. На чому побудований ефект волюмометричного (об'ємного) методу аналізу швидкості корозії?
3. Написати рівняння, які відбуваються під час корозії металевого зразка у кислому середовищі.

## 2.3 Прилади і реактиви:

1. Прилад для визначення об'єму газу, що виділився.
2. Штангенциркуль.
3. Наждачний та фільтрувальний папір.
4. Розчин HCl (10%-вий).
5. Зразки металу.

## 2.4. Вказівки з техніки безпеки

1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

## 2.5 Порядок виконання роботи

Зразок досліджуваного металу зачистити наждачним папером, обмити водою, просушити та зважити на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г. Штангенциркулем визначити розміри зразка з точністю до 0,1 мм і обчислити площу його поверхні та об'єм, враховуючи отвір. Знежирити зразок будь-яким розчинником і помістити в установку для вимірювання об'єму газу, що виділяється. За допомогою гумової груші набрати робочий розчин в бюретку точно до верхньої риски. Відмітити час початку експерименту і відмічати об'єм водню, який виділяється, через кожні 2 хвилини на протязі 30 хвилин. Результати записати до Таблиці 1. Привести об'єм водню до нормальних умов і обчислити масу металу, який піддався корозії на кожний момент часу. Отримані результати показати в координатах «маса металу, який зруйнувався від корозії (г) – час (хвилин)». Розрахувати середній глибинний показник швидкості корозії  $\Pi$  (в мм/рік) за формулою:

$$\Pi = 8,76 \frac{m_{Me}}{\rho \cdot t \cdot S} \quad (2.7)$$

де  $m_{Me}$  – маса металу, що зруйнувався за час експерименту (г);

$S$  – площа поверхні зразка ( $m^2$ );

$t$  – повний час експерименту (0,5 години);

$\rho$  – густина металу ( $г/см^3$ ), (густина металу обчислити, використовуючи вихідні дані маси та об'єму зразка).

Таблиця 2.1 Результати експерименту

| t<br>(хвил) | $V_{\text{експ}}$<br>( $см^3$ ) | m<br>(г) | t<br>(хвил) | $V_{\text{експ}}$<br>( $см^3$ ) | m<br>(г) | t<br>(хвил) | $V_{\text{експ}}$<br>( $см^3$ ) | m<br>(г) |
|-------------|---------------------------------|----------|-------------|---------------------------------|----------|-------------|---------------------------------|----------|
| 0           |                                 |          | 12          |                                 |          | 24          |                                 |          |
| 2           |                                 |          | 14          |                                 |          | 26          |                                 |          |
| 4           |                                 |          | 16          |                                 |          | 28          |                                 |          |
| 6           |                                 |          | 18          |                                 |          | 30          |                                 |          |
| 8           |                                 |          | 20          |                                 |          |             |                                 |          |
| 10          |                                 |          | 22          |                                 |          |             |                                 |          |

## 2.6 Зміст звіту

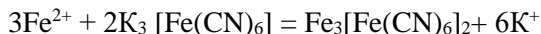
1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## Лабораторна робота №3 ВИКОРИСТАННЯ КОЛЬОРОВИХ ІНДИКАТОРІВ ПРИ ВИВЧЕННІ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

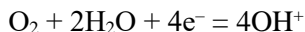
**Мета роботи:** опанувати методику приготування фероксил-індикатору та його використання для аналізу корозії сплавів заліза.

### 3.1 Загальні відомості

При проведенні якісних досліджень корозійних процесів, щоб підсилити візуальний ефект, використовують кольорові індикатори – речовини, які утворюють на катодних та анодних ділянках забарвлені сполуки. При вивченні корозії сплавів заліза широко розповсюджено **фероксиліндикатор**, який складається з 3%-вого водяного розчину NaCl з додатком гексаціаноферату калію  $K_3[Fe(CN)_6]$  та фенолфталеїну. В процесі корозії сплаву до розчину переходять іони  $Fe^{2+}$ , які, реагуючи з гексаціанофератом калію, утворюють синій гексаціаноферат заліза (II):



При цьому розчин біля анодних ділянок забарвлюється в синій колір. 3%-вий розчин NaCl – нейтральний електропровідний розчин (імітація морської води), в якому головним окислювачем є розчинений кисень. Тому на катодних ділянках в процесі корозії відбувається відновлення кисню:



При цьому утворюються гідроксил-іони, які, реагуючи з фенолфталеїном, забарвлюють розчин поблизу катодних ділянок в малиновий колір.

### 3.2 Контрольні запитання

1. Навести визначення явища корозії.

2. Пояснити відмінності механізмів хімічної та електрохімічної корозії.

3. Перелічити можливі причини виникнення різниці потенціалів між різними частинами поверхні металів і металевих конструкцій, занурених у розчин електроліту.

4. Написати рівняння анодних та катодних процесів, які відбуваються під час корозії вуглецевої сталі у водному розчині сульфатної кислоти та нейтральному водному розчині натрій хлориду.

### 3.3 Прилади і реактиви:

1. Розчини  $K_3[Fe(CN)_6]$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaCl$ ,  $NaOH$ , фенолфталеїн.
2. Хімічні склянки (150 мл).
3. Пластмасові гачки.
4. Наждачний та фільтрувальний папір.
5. Мідний та алюмінієвий дріт.
6. Тиски, молоток, пробійник.
7. Зразки металу.

### 3.4. Вказівки з техніки безпеки

1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

### 3.5 Порядок виконання роботи

*Дослід 1. Якісний аналіз швидкості корозії заліза в різних електролітах*

Налити в чотири склянки по 100 мл: 1 – дистильовану воду; 2 – 3%-вий розчин  $H_2SO_4$ , 3 – 3%-вий розчин  $NaCl$ , 4 - 3%-вий розчин  $NaOH$ . Додати до кожної склянки по 5 крапель розчину гексаціаноферату калію  $K_3[Fe(CN)_6]$  і перемішати.

Чотири залізних зразка зачистити наждачним папером, обмити водою, знежирити содою і помістити по одному до кожного розчину за допомогою пластмасових гачків. Спостерігати за змінами

забарвлення розчинів біля поверхні зразків. Написати анодні і катодні напівреакції для кожного випадку. Вказати, де корозія йде швидше та пояснити чому.

### ***Дослід 2. Приготування фероксиліндикатору***

Налити в скляну 100 мл 3%-вого розчину NaCl, додати 10 крапель розчину гексаціаноферату калію  $K_3[Fe(CN)_6]$ , 10 крапель фенолфталеїну та перемішати. Перевірити працездатність фероксиліндикатору, для чого налити його по 2-3 мл у дві пробірки і додати в одну з них 1-2 краплі розчину  $FeSO_4$ , а в другу – декілька крапель розчину NaOH. В першій пробірці розчин повинен стати темно-синім, а в другій – малиновим.

### ***Дослід 3. Використання фероксиліндикатору для вивчення корозії з нерівномірною аерацією.***

Зачистити та знежирити 2 залізних зразка. Один з них покласти горизонтально і капнути на нього краплю фероксиліндикатору діаметром 10-15 мм. Другий зразок помістити до склянки з фероксиліндикатором так, аби він не був повністю занурений в розчин. Через 5-10 хвилин потому спостерігати розподілення забарвлення. Пояснити це явище. (В другому випадку ефект називається «корозією по ватерлінії»).

### ***Дослід 4. Використання фероксиліндикатору для вивчення гальвано-корозії***

Зачистити та знежирити 2 залізних зразка. Один обкрутити 3-5 разів мідним дротом, другий – алюмінієвим. Отримані таким чином гальванопари помістити на пластмасових гачках в склянки з фероксиліндикатором. За зміною забарвлення розчину біля поверхні зразків визначити, який метал є катодом, а який – анодом. Написати катодну та анодну напівреакції для кожного випадку.

### ***Дослід 5. Використання фероксиліндикатору для вивчення впливу на корозію механічних напруг та деформацій***

Два добре відпалені залізні зразки зачистити наждачним папером, обмити та знежирити. На одному пробійником зробити невеличку заглибнику, а другий, затиснувши в тиски, зігнути під кутом  $90^\circ$  (чи більше). Деформовані зразки помістити до склянок з фероксиліндикатором і через 5-10 хвилин визначити за зміною забарвлення індикатора анодом чи катодом є деформована ділянка. Пояснити явище.

### 3.6 Зміст звіту

1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## Лабораторна робота №4 ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПРИРОДА КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

**Мета роботи:** Ознайомитись з особливостями проходження корозійних процесів та принципами захисту металів від корозії.

### 4.1 Загальні відомості

Поверхнєве руйнування металів, викликане хімічним або електрохімічним впливом середовища» називається корозією.

Процеси корозії дуже різноманітні і дуже поширені. Одним з прикладів корозії є іржавіння металів. Корозія завдає величезних збитків народному господарству країни.

Розрізняють корозію хімічну, коли метали піддаються дії різних газів, пари, води, рідин, що не проводять електричного струму, і електрохімічну, яка відбувається під дією розчинів різних електролітів.

Зміна блискучої поверхні металів на повітрі пояснюється тим, що поверхня металів вкривається найтоншою плівкою окислів.

Підвищення температури прискорює цей процес. Якщо утворена на поверхні металу плівка окису щільна, як, наприклад, у алюмінію або цинку, то вона зберігає метал від дальшого окислення. На інших металах, зокрема на залізі, поверхнева плівка має пори, крізь які проникає кисень повітря, внаслідок чого така плівка не перешкоджає дальшому руйнуванню металу.

В тому разі, коли метали занурити в електроліти – розчини кислот, лугів і солей, – спостерігатимемо електролітичну корозію.

Дуже важко провести межу між хімічною і електролітичною корозіями. Так, наприклад, гази, розчиняючись у плівці води, яка майже завжди є на поверхні металу, створюють умови для електролітичної корозії.

Електролітична корозія, по суті, нагадує роботу гальванічних елементів, бо будь-який метал не є однорідним. Різні включення в

метал можуть бути і є електродами. Одні з них є анодними ділянками, інші – катодними. Анодні ділянки розчинятимуться, на катодних – виділятиметься водень.

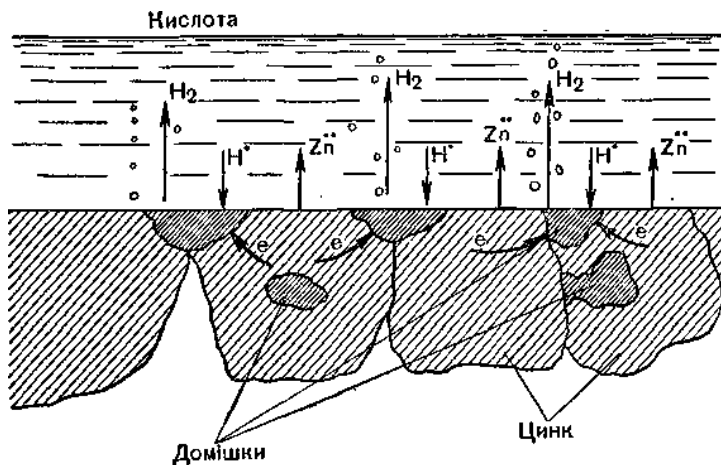


Рисунок 4.1

Давно вже було помічено, що чим чистіший метал, наприклад цинк, тим важче він розчиняється в кислоті. Отже, розчинення цинку в кислоті можна розглядати як результат роботи колосальної кількості мікроскопічних гальванічних елементів, у яких анодами є постійні домішки металу, а катодами – сам цинк (рис. 4.1).

Спроби показують, що в міру розчинення цинку швидкість його руйнування збільшується. Це пояснюється тим, що число катодних ділянок в міру розчинення “металу збільшується.

В окремих випадках корозія зосереджується на дуже маленькій площі, утворюючи так звані корозійні виразки. Залежно від умов, в яких перебувають металеві вироби, від природи металів і способів виготовлення виробів застосовуються різні способи боротьби з корозією. Всі відомі методи захисту металів від корозії зводяться до такого:

а) покриття металів (металеві і неметалеві): металізація, гальваностегія, фарбування, утворення окисних плівок на поверхні металу, гумування і ін.;

б) обробка зовнішнього середовища, наприклад: обробка води,

що живить котельні установки з метою видалення кисню; введення в середовище газів, які утворюють на поверхні металів захисні плівки (інгібітори); введення в рідкі середовища речовин, так званих сповільнювачів, що гальмують процес розчинення металів в розчинах електролітів і неелектролітів і т. д.;

в) електрохімічні методи захисту: протекторний захист, електродренаж, катодний і ін.

#### **4.2 Контрольні запитання**

1. Навести визначення явища корозії.
2. Пояснити відмінності механізмів хімічної та електрохімічної корозії.
3. Перелічити можливі причини виникнення різниці потенціалів між різними частинами поверхні металів і металевих конструкцій, занурених у розчин електроліту.
4. Написати рівняння анодних та катодних процесів, які відбуваються під час корозії вуглецевої сталі у водному розчині сульфатної кислоти та нейтральному водному розчині натрій хлориду.
5. Дати визначення явища пасивації. Перерахувати основні елементи, які входять до складу легованих сталей.

#### **4.3 Прилади і реактиви:**

1. Реактиви:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (5-10%-вий розчин); концентрований розчин  $\text{NaOH}$ ; концентрований розчин  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , розчин  $\text{CuSO}_4$  (10%-вий); розчин  $\text{CuCl}_2$ ;  $\text{Zn}$ ;  $\text{Sn}$ .
2. Матеріали: мідні пластинки (20 x 50 x 2); цинкові пластинки (20 x 50 x 2); пластинка із сталі (10 або сталі 20); алюмінієва пластинка;
3. Посуд і прилади: скляні хімічні стакани на 250 мл – 4 шт.; гальванометр – 1 шт.; вольтметр – 1 шт.; сталі пера – 2 шт.; бюретки – 2 шт.; ванночки – 2 шт.; штативи залізні – 2 шт.

#### **4.4. Вказівки з техніки безпеки**

1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.

5. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

#### **4.5 Порядок виконання роботи**

##### ***Дослід 1. Електрохімічна природа корозійних процесів***

а) Змонтуйте в скляному хімічному стакані звичайний гальванічний елемент. Для цього налейте в стакан 100 мл 5%-вого розчину сульфатної кислоти і опустіть в нього мідну і цинкову пластинки з прикріпленими до них дротинами. Для визначення різниці потенціалів між цинковою і мідною пластинками увімкніть вольтметр (3-5 хв). Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються на катоді і на аноді.

##### ***Дослід 2. Корозія металів при безпосередньому контакті.***

В скляний хімічний стакан з розчином сульфатної кислоти (5-10%-вий) покладіть контактуючі між собою мідь і цинк. Замість мідної пластинки можна використати сплющений і потім відшліфований наждачною шкуркою мідний дріт, намотаний на цинкову пластинку, а також мідну заклепку в цинковій пластинці. У всіх спробах мідь і цинк заздалегідь протріть ваткою, змоченою спиртом, бензином, ацетоном, сульфатним ефіром або іншими розчинниками. Який метал піддається руйнуванню? Де відбувається виділення водню?

в) В хімічний стакан місткістю 250 мл налейте 100 мл 5-10%-вого розчину сульфатної кислоти, покладіть у нього в горизонтальному положенні пластинку з технічного цинку.

Поверхня пластинки розчиняється нерівномірно: на одних ділянках бульбашки водню утворюються швидше, на інших – значно повільніше. Бульбашки водню утворюються переважно на домішках, які є катодами, причому катода і анода замкнені накоротко через метал. Через 10-15 хв на поверхні цинкової пластинки утвориться нещільний шар домішки, який називається «губкою», а процес розчинення металу досягає максимальної швидкості.

Акуратно зніміть скляною паличкою «губку». При цьому швидкість розчинення цинку знижується. Потім «губкою» доторкніться до цинкової пластинки. Що спостерігаєте?

##### ***Дослід 3. Вплив різних іонів на швидкість корозії***

Різні іони в різній мірі впливають на руйнування поверхневої плівки металів. Найбільш активно руйнують поверхню металів іони хлору і інших галогенів, менше – активні іони  $\text{SO}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  і ін.

Налійте в одну пробірку 10%-вого розчину хлориду міді, а в

другу – такої самої концентрації розчину сульфату міді. Внесіть в пробірки алюміній у вигляді стружки. Що спостерігаєте?

#### ***Дослід 4. Швидкість електрохімічної корозії металів***

Змонтуйте в двох штативах установку з двома бюретками і ванночками (рис. 4.2). Поруч помістіть дві пробірки.

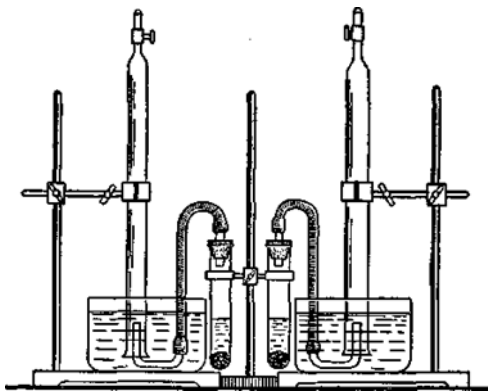


Рисунок 4.2

В обидві пробірки покладіть по 3-4 кусочки цинку, в одну з них долийте 1-2 мл розчину мідного купоросу.

Потім в обидві пробірки налейте розчину сульфатної кислоти і затулійте їх пробками з газовивідними трубками. Вільні кінці газовивідних трубок підведіть до бюреток (рис. 4.2).

Зробіть висновок про швидкість корозії чистого металу і того самого металу в контакті з більш електропозитивним металом.

Напишіть рівняння реакцій.

#### **4.6 Зміст звіту**

1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## Лабораторна робота №5

### ЗАХИСТ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНГІБІТОРІВ

**Мета роботи:** експериментально оцінити захисну дію деяких найбільш поширених інгібіторів.

#### 5.1 Загальні відомості

Прогнозування перебігу процесів корозії металевих конструкційних матеріалів – одна з найважливіших інженерних задач. Ефективним та економічним методом захисту металів від корозії є застосування *інгібірування*, тобто додавання в корозійне середовище незначних кількостей деяких речовин, що зменшують його агресивність до металів – *інгібіторів*.

Механізм дії інгібіторів в кислому середовищі в більшості випадків полягає в гальмуванні катодних та анодних процесів електрохімічної корозії, утворенні захисних і пасивуючий плівок. В зв'язку з цим інгібітори можна класифікувати на *анодні* й *катодні*.

Дія *анодних інгібіторів* ґрунтується на пасивації анодних ділянок поверхні металу. Найчастіше за пасиватори беруть хромати, нітрити, молібдати, вольфрамати, фосфати, поліфосфати, силікати, борати, бензоат натрію та інші. Анодні інгібітори корозії відносять до категорії небезпечних, бо за певних умов вони із сповільнювачів корозії перетворюються на її стимулятори.

1. *Катодні інгібітори* зменшують швидкість реакції внаслідок зниження ефективності катодного процесу, яке може бути досягнуто двома шляхами: при корозії з кисневою деполяризацією – зменшенням вмісту кисню в рідкому корозійному середовищі.

2. При корозії з водневою деполяризацією – підвищенням перенапруги реакції виділення водню. Цього можна досягти введенням у корозійне середовище солей деяких елементів, наприклад  $\text{De}$ ,  $\text{Vi}$ , або деяких органічних речовин.

Катодні інгібітори безпечні, бо не посилюють корозію, якщо їх навіть мало.

Захист інгібіторами застосовують в системах із сталем або мало змінюваним об'ємом корозійного середовища.

Величину захисного ефекту дії інгібіторів (2, %), визначають за формулою:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

- де  $K_0$  – швидкість корозії без інгібітора,  $\text{г/м}^2\text{-годину}$ ;  
 $K_1$  – швидкість корозії в присутності інгібітора  $\text{г/м}^2\text{-годину}$ .  
 $Z = 100\%$  якщо захист повний.

Коефіцієнт гальмування інгібітора визначається за формулою:

$$Y = \frac{K_0}{K_1} \quad (5.2)$$

де  $K_0$  і  $K_1$  – те саме, що і в формулі (5.1).

Ступінь захисту і коефіцієнт гальмування - оцінка ефективності дії інгібітора. Коефіцієнт гальмування показує, у скільки разів зменшиться швидкість корозії внаслідок дії інгібітору.

## 5.2 Контрольні запитання

1. У чому полягає механізм дії інгібіторів в кислотному середовищі?
2. Навести приклади захисту металів за допомогою інгібіторів.
3. Наведіть приклади анодних та катодних сповільнювачів корозії.

## 5.3 Прилади і реактиви:

1. Розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (10%-й).
2. Хімічні склянки (150 мл).
3. Пластмасові гачки.
4. Наждачний і фільтрувальний папір.
5. Аналітичні терези.
6. Штангенциркуль.
7. Зразки металу.

## 5.4. Вказівки з техніки безпеки

1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.

5. Дотримуватися правил роботи з кислотами, скляним посудом. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

### 5.5 Порядок виконання роботи

Чотири зразки досліджуваного металу зачистити наждачним папером, промити водою, просушити фільтрувальним папером і зважити на аналітичних терезах з точністю до 0,0001г. За допомогою штангенциркуля визначити розміри зразків з точністю до 0,1 мм та обчислити площу поверхні, враховуючи площу отвору. В чотири склянки налити по 100 мл розчину сульфатної кислоти. Одну склянку залишити для контролю, а в інші склянки додати по одному мікрошпателю різних інгібіторів (за пропозиції викладача) і перемішати до повного розчинення. Чотири підготовлені зразки металів знежирити, висушити і помістити по одному в кожній склянці. Через декілька хвилин за інтенсивністю виділення водню, можна візуально оцінити швидкість корозії металу в контрольному розчині і в розчинах з добавками інгібіторів. Для одержання точної оцінки, через 30 хвилин після початку експерименту виняти зразки із розчинів, промити їх, просушити і знов зважити. Отримані результати занести до Таблиці 5.1. Визначити втрату маси для кожного зразка і розрахувати швидкість корозії досліджуваного металу в кожному із розчинів (необхідну для розрахунку густину металу обчислити самостійно по результатах зважування і обмірювання зразків).

Таблиця 5.1 Результати експерименту

| Номер зразка                               | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|---|---|---|
| Формулам назва інгібітори                  |   |   |   |   |
| Маса зразка до випробування (г)            |   |   |   |   |
| Маса зразка після випробування (г)         |   |   |   |   |
| Площа поверхні зразка (м <sup>2</sup> )    |   |   |   |   |
| Швидкість корозії (г/м <sup>2</sup> · год) |   |   |   |   |
| Глибинний показник (мм/рік)                |   |   |   |   |
| Коефіцієнт гальмування інгібітора          |   |   |   |   |
| Захисний ефект дії інгібітора (%)          |   |   |   |   |

## 5.6 Зміст звіту

1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## Лабораторна робота №6 ІНГІБІТОРИ КИСЛОТНОЇ КОРОЗІЇ

**Мета роботи:** Засвоїти найпростіший метод безперервного аналізу швидкості корозії.

### 6.1 Загальні відомості

В промисловості часто застосовують хімічні речовини, додавши які у невеликій кількості до кислоти, різко зменшимо швидкість розчинення в ній металів, не впливаючи помітно на розчинення окислів. Такі речовини називаються травильними присадками, добавками, інгібіторами корозії або сповільнювачами кислотної корозії.

Як інгібітори можна застосувати різні речовини. Наприклад, анілін, желатин, калій бромистий, калій йодистий, клей столярний, крохмаль, уротропін, промислові присадки ПБ і ЧМ і т. д.

Важливою особливістю травильних присадок є та обставина, що вони, значно знижуючи агресивність кислот на метали, майже не впливають на швидкість розчинення в них продуктів корозії – іржі, окалини і т.п. Цю властивість використовують для видалення продуктів корозії з чорних металів і виробів з них.

### 6.2 Контрольні запитання

1. Що таке інгібітори корозії? Які речовини називаються інгібіторами?
2. Як поділяють інгібітори корозії за механізмом дії на електрохімічні процеси?

### 6.3 Прилади і реактиви:

1. Реактиви:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (20%-вий розчин); уротропін; розчин  $\text{CuSO}_4$

(0,1 M); NaOH;  $K_2CrO_4$ ; HCl (20%-вий розчин); формалін (40%-вий розчин);  $NH_4OH$  (25%-вий розчин); бензин;

2. Матеріали: іржаві металеві пластинки, гвіздки; залізні пластинки – 2 шт.; хроматно-лужний розчин (1 л води + 10 г їдконого натру і 80 г хромовоокислого калію).

3. Посуд і прилади: скляні хімічні стакани місткістю 150-200 мл – 2 шт.; палички скляні – 1 шт.; сталеві пластинки (розміром 20 x 40 x 2) – 1 шт.; бюретки – 2 шт.; ванночки – 2 шт.; кристалізатори – 2 шт.; лійки – 2 шт.; штативи залізні – 2 шт.

#### **6.4. Вказівки з техніки безпеки**

1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

#### **6.5 Порядок виконання роботи**

##### ***Дослід 1. Дослідження дії травильних присадок***

Налийте в два однакових хімічні стакани місткістю 150-200 мл кожний по 100 мл 20%-вої сульфатної (або соляної) кислоти.

В перший з хімічних стаканів до кислоти додайте травильної присадки, наприклад 2-3 г уротропіну. Після того, як присадка розчиниться (для цього її інтенсивно перемішуйте в кислоті скляною паличкою), у стакан в вертикальному положенні занурте сталеву пластинку, відшліфовану і знежирену. Одночасно таку саму пластинку занурте у другий стакан з кислотою без присадки.

Відмітьте, в якому з стаканів розчинення йде швидше.

##### ***Дослід 2. Кількісне визначення швидкості уповільнення корозії за допомогою інгібіторів***

Для кількісного визначення швидкості уповільнення розчинення заліза в кислотах змонтуйте прилад, як показано на рисунку 6.1. Налийте в невеликі кристалізатори 20%-вого розчину сульфатної кислоти і в один з них додайте 1 г уротропіну на кожні 100 мл кислоти. Потім в обидва кристалізатори занурте залізні пластинки однакового розміру, заздалегідь очищені наждачним папером від іржі.

Пластинки накривають лійками і підводять під бюретки. В бюретки всмоктують кислоту до країв, після чого їх закривають.

Водень, що виділяється, витискуватиме кислоту з бюретки. За кількістю виділеного водню розрахуйте ефективність дії інгібітору за формулою:

$$\gamma = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (6.1)$$

де  $\rho_0$  – кількість виділеного водню в чистій кислоті;

$\rho$  – кількість виділеного водню в інгібованій кислоті.

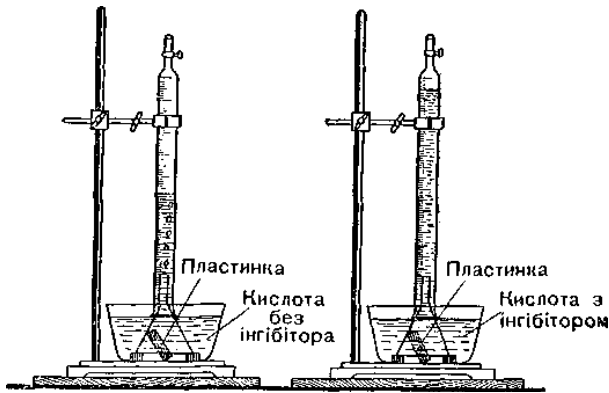


Рисунок 6.1

Проведіть аналогічну спробу з іншим інгібітором, наприклад аніліном, і порівняйте одержані результати.

### ***Дослід 3. Приготування і застосування кислотного розчинника іржі (виробничий рецепт)***

До 1 л 10-20%-вого розчину сульфатна або хлоридна кислоти додайте 5 г роздрібненого технічного уротропіну<sup>1</sup>. Металеві предмети, які треба травити (пластинка, гвіздок і т. п.), протріть бензином або гасом для видалення жиру. Після цього занурте предмет в розчинник іржі і тримайте в ньому до повного видалення іржі.

Звичайно іржа з поверхні металу, залежно від товщини шару,

<sup>1</sup> Замість уротропіну можна застосовувати сухий спирт, який являє собою спресований порошок уротропіну і вживається в побуті для нагрівання.

видаляється досить швидко і цілком при його обробці розчинником іржі. Якщо деяка кількість іржі залишається на виробі, то міцність її зчеплення з металом тепер настільки мала, що вона легко відділяється від металевої поверхні м'якою волосяною щіточкою або струменем води.

Після зняття іржі виріб пасивують, для чого, промивши його водою, занурюють на 15-30 хв. в хроматно-лужний розчин.

Пасивують вироби для запобігання появи нової іржі і для запобігання протравлених виробів повітряній корозії.

### **6.6 Зміст звіту**

1. Мета роботи
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## **Лабораторна робота №7 РОЛЬ ОКИСНИХ ПЛІВОК ПРИ ЗАХИСТІ ВІД КОРОЗІЇ**

**Мета роботи:** експериментально оцінити захисну дію деяких найбільш поширених окисних плівок.

### **7.1 Загальні відомості**

Утворення плівок на поверхні металів зв'язане з дією не тільки кисню, але й інших газів, що є в повітрі. З металом реагує сірчистий газ, вуглекислий газ і ін. Ці гази при одночасній дії з парою води, що є в повітрі, дуже швидко руйнують метал.

Деякі мінеральні кислоти, як, наприклад, сульфатна і нітратна, так само, як і кисень повітря, при взаємодії з металом утворюють на його поверхні щільну окисну плівку. Так, наприклад, якщо пластинку заліза з добре очищеною поверхнею занурити в концентрований розчин азотної кислоти, виникає міцна окисна плівка, яка захищає залізо від дальшого руйнування. В даному разі кажуть, що нітратна кислота пасивує залізо. Так само концентрована сульфатна кислота пасивує поверхню заліза, захищаючи його від дальшого руйнування. Хімічна корозія особливо швидко відбувається при наявності вологи, вуглекислого газу і кисню повітря. На поверхні залізних виробів в цих випадках утворюється шар іржі, що складається з водного окису заліза

– речовини, яка має таку, приблизно, хімічну формулу –  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

### 7.2 Контрольні запитання

1. Назвати основні методи захисту металів від корозії.
2. Пояснити принципи катодного та протекторного захисту.
3. Перелічити основні засоби нанесення захисного покриття на метали.

### 7.3 Прилади і реактиви:

1. Розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (10%-й).
2. Хімічні склянки (150 мл).
3. Пластмасові гачки.
4. Наждачний і фільтрувальний папір.
5. Аналітичні терези.
6. Штангенциркуль.
7. Зразки металу.

### 7.4. Вказівки з техніки безпеки

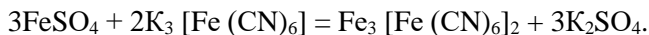
1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Дотримуватися правил роботи з кислотами, скляним посудом. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

### 7.5 Порядок виконання роботи

#### *Дослід 1. Корозія оцинкованого заліза і лудіння жерсті*

Налийте в хімічний стакан (місткістю 100 мл) 50 мл дистильованої води і додайте 1-2 мл концентрованого розчину червоної кров'яної солі  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Після розмішування розлийте розчин порівну в два хімічні стаканчики. В один з них занурте скріпку (або стальне перо) з щільно вставленою в неї пластинкою (кусочком) цинку. В другий занурте саму скріпку з пластинкою олова. Через деякий час рідина в хімічному стаканчику із скріпкою залізо-олово забарвиться в синій колір, в той час як в розчині, де

перебуває залізо-цинк, забарвлення не змінюється. Синє забарвлення розчину обумовлене утворенням турбулієвої сині в результаті взаємодії іонів заліза з червоною кров'яною сіллю:



Як відбуваються процеси корозії в цих умовах?

### ***Дослід 2. Роль окисних плівок при захисті від корозії***

Очистіть поверхню алюмінієвої пластинки наждачною шкуркою. Потім знежирену бензином пластинку занурте в дистильовану воду, нагріту до 60-80°. В цьому випадку корозії практично не спостерігатимете. Потім внесіть пластинку в насичений розчин солі ртуті і знову занурте в дистильовану воду такої самої температури. Майже відразу почне бурхливо розчинятися пластинка з виділенням бульбашок водню, з випаданням гідрату окису алюмінію, бо при амальгамуванні захисна плівка на алюмінії розчиняється, а шар ртуті, що вкриває поверхню пластинки, заважає їй відновлюватись. Отже, вода взаємодіє з алюмінієм, що позбавлений захисної окисної плівки. Напишіть рівняння реакції.

### ***Дослід 3. Пасивування металів***

Налійте в скляний хімічний стакан 100 мл 50%-вого розчину азотної кислоти. Стальну пластинку з малокарбідної сталі спочатку відшліфуйте, знежиріть, а потім підвісьте її на скляних гачках (рис.7.1) в хімічному стаканчику з кислотою. Через кілька секунд бурхливого розчинення настає надійне пасивування поверхні – утворення видимої сірої матової плівки окислу. Корозія металу (його розчинення) припиняється. Слідом за ним на поверхні пластинки проведіть неметалевою паличкою. Що відбувається при цьому? Спробу виконують у витяжній шафі.

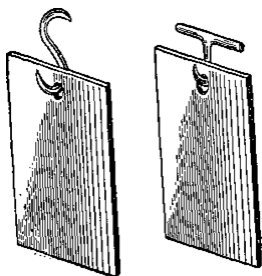


Рисунок 7.1

#### ***Дослід 4. Випробування корозійної стійкості окисних плівок***

При нагріванні металу, залежно від температури на його поверхні, утворюється плівка різної товщини і будови. Утворення плівки на поверхні металу при нагріванні можна виявити за появою так званих «кольорів мінливості».

Для цього візьміть тонку сталеву пластинку завдовжки 25-30 см і завширшки 1,5-2 см, очистіть її поверхню наждачним папером.

Внесіть пластинку у полум'я пальника (рис. 7.2). В міру нагрівання на ній виникають кольори мінливості. Потім зніміть пластинку з вогню і охолодіть. На охолоджену пластинку через кожні 2 см по довжині пластинки пустіть по краплі 10%-вого розчину мідного купоросу. За швидкістю появи мідної плями зробіть висновок про захисні властивості різних ділянок окисної плівки, яка утворилася на металі.

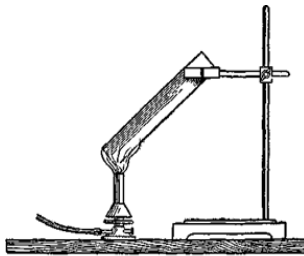


Рисунок 7.2

#### **7.6 Зміст звіту**

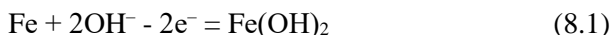
1. Мета роботи.
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

### **Лабораторна робота №8 ОКСИДУВАННЯ МЕТАЛІВ**

**Мета роботи:** Ознайомитись з методами одержання окисних захисних покриттів на чорних та кольорових металах.

### 8.1 Загальні відомості

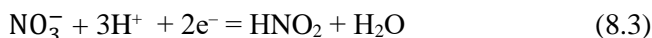
Оксидування чорних та кольоровий металів широко застосовується для захисту їх головним чином від атмосферної корозії. Оксидну плівку можна одержати як електрохімічним окисленням металу в електролітах (анодування), так і шляхом обробки в кислих або лужних окислювальних розчинах, а також шляхом нагріву металу в атмосфері водяної пари («паротермічний метод»). Найбільш широко в техніці застосовуються методи лужного оксидування та анодування. В процесі лужного оксидування завдяки взаємодії металу (наприклад заліза) з окислювачем на його поверхні утворюється захисна плівка, яка складається переважно з магнетиту  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Припускається, що первинним процесом в лужно-нітратних ваннах є утворення гідрату закиси заліза:



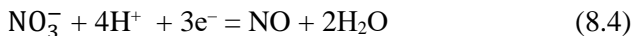
з наступним окисленням цього гідрату за реакцією:



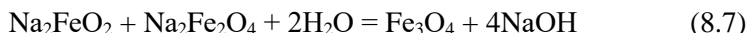
Переважаючим катодним процесом асиміляції електронів металу є відновлення нітрат-іону:



або



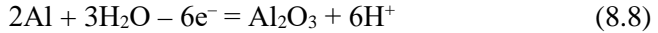
Разом з електрохімічним можливі і суто хімічні процеси за схемами:  $\frac{1}{2}$



Оксидна плівка, добута на сталі лужним методом, має блискучий чорний колір, звідки стає зрозумілим походження назви "вороніння". При підвищенні температури кипіння лужного розчину (внаслідок випаровування води і підвищення концентрації розчину) якість плівки погіршується, оскільки на поверхні сталі утворюється пухкий бурий прошарок гідроксиду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Після оксидування

деталь, як правило, змазують вазелином або вкривають лаком, за рахунок чого тривалість служби покриття збільшується.

Електрохімічне оксидування алюмінію полягає в його анодній обробці в розчині сірчаної, фосфорної, хромової або шавлевої кислот. Реакція анодного окислення алюмінію може бути представлена рівнянням:



Через те, що оксид є діелектриком, утворення його суцільної плівки на аноді начебто повинно призвести до припинення процесу окислення. Однак завдяки поруватій структурі оксиду, який утворюється, можна отримати достатньо товстий його шар (до 500 мкм). При обробці анодованих зразків в розчинах хроматів, дихроматів або інших пасиваторів відбувається адсорбція останніх, гідратація плівки і закриття пор, тому така обробка покращує корозійну стійкість алюмінію. Якщо в розчин для обробки ввести фарбника, то оксидний шар можна зафарбувати (Табл.9.1).

## 8.2 Контрольні запитання

1. Що таке оксидування?
2. З якою метою проводиться оксидування?
3. Викладіть суть технологічного процесу створення покриття лужним методом
4. Що потрібно робити для збільшення терміну служби оксидованого покриття?

## 8.3 Прилади і реактиви:

1. Зразки сталі та алюмінію.
2. Залізна ванна.
3. Розчини фарбників.
4. Фільтрувальний та наждачний папір.
5. Органічний розчинник для знежирення зразків металів.
6. 15%-й розчин HCl.
7. Розчин для "вороніння" сталі.
8. Розчин для контролю поруватості оксидної плівки.
9. 20%-й розчин H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Розчин CuSO<sub>4</sub>, підкислений сірчаною кислотою, який містить хлорид натрію.

#### 8.4. Вказівки з техніки безпеки

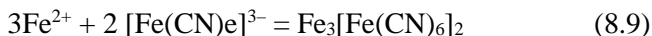
1. Лабораторія повинна міститися в чистоті.
2. До місця роботи і приладів не допускаються сторонні особи.
3. Робота студентів дозволяється тільки при повністю справному устаткуванні.
4. Необхідно стежити за справністю заземлення в лабораторії.
5. Дотримуватися правил роботи з кислотами, скляним посудом. Уникати попадання хімічних реактивів на шкіру і слизові оболонки.

#### 8.5 Порядок виконання роботи

##### *Дослід 1. «Вороніння» сталі*

Залізну ванну з лужно-нітритонітратною сумішшю для оксидування ( $\text{NaOH}$  – 700 г,  $\text{NaNO}_2$  – 200 г,  $\text{NaNO}_3$  – 50 г,  $\text{H}_2\text{O}$  – 1 л) розігрівають до температури кипіння (136-142 °С). Зразки сталі, зачищені наждачним папером і знежирені органічним розчинником, помішують на підвіс та декапірують (злегка травлять) 30 секунд в 15%-вому розчині  $\text{HCl}$ . Після цього зразки промивають холодною проточною водою, витирають досуха фільтрувальним папером і швидко помішують в ванну для оксидування. Протягом оксидування необхідно дотримуватись температури в ванні в межах, зазначених вище, інакше може утворитися оксидний шар низької якості (нерівномірне забарвлення, коричневий або зеленкуватий відтінок). Оксидування ведуть 30 хвилин, потім припиняють підігрів ванни, виймають зразки, старанно промивають холодною проточною водою, а потім гарячою і висушують фільтрувальним папером.

Поруватість оксидної плівки визначають, накладаючи на суху поверхню оксидованого зразка фільтрувальний папір, змочений розчином, який містить 10 г  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  та 15 г  $\text{NaCl}$  на 1 л води. В порах покриття при цьому утворюються цяточки турбулевої блакиті за реакцією:



Потім папір знімають, промивають у воді, висушують в сушильній шафі при температурі 50-60 °С і підраховують цяточки, які прийдуться на 1 см<sup>2</sup> поверхні зразка.

##### *Дослід 2. Анодування алюмінію*

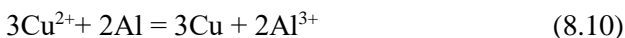
До електролізеру наливають 20%-й розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і занурюють в

нього заздалегідь знежирену та обмиту водою алюмінієву деталь. Алюміній використовують як анод, а за катод править свинцева пластина. Протягом 20 хвилин пропускають струм при анодній густині 100-200 А/м<sup>2</sup>. Вимкнувши струм, алюмінієву деталь виймають та промивають холодною водою. Потім зразок занурюють до приготованого розчину анілінового фарбника (табл.8.1), витримують в ньому 5-10 хвилин, після чого промивають холодною водою і висушують фільтрувальним папером.

Таблиця 8.1 Склад розчинів барвників

| Колір плівки | Склад розчину  | Температура, °С |
|--------------|--|-----------------|
| Чорний       | Аніліновий чорний для вовни + аніліновий чорний "ФФ", ( по 0.5%ваг)                        | 80-90           |
| Синій        | Аніліновий блакитний (1.0% ваг)  | 20-25           |
| Жовтий       | Аніліновий жовтий (1.0% ваг)   | 20-25           |
| Червоний     | Аніліновий червоний (1.0% ваг)   | 20-25           |
| Золотистий   | Жовтогарячий "2Ш"(1.0 г/л) + кислотний чорний "М"(0.01 г/л) + сода кальцинована (0.05 г/л) | 60              |

Для порівняння корозійної стійкості алюмінію, анодованого без насичування, анодованого з насичуванням фарбником і необробленого, зразки кожного з них занурюють в розчин CuSO<sub>4</sub>, підкислений сірчаною кислотою і вміщуючий хлорид натрію. В місцях залягання пор утворюється пляма міді за реакцією:



При необхідності знебарвлення плівку з алюмінію можна видалити, та зануривши деталь в 50% розчин NaOH.

### 8.6 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Написати відповіді на контрольні запитання
3. Виконати розрахунки і скласти звіт про виконану роботу.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування: підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 318 с.

2. Хімічна корозія та захист металів: навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.

3. Костенко І. А., Челябієва В. М. Корозія та захист металів від корозії: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямів підготовки 6.051701 – Харчові технології та інженерія; 6.050502 – Інженерна механіка; 6.050503 – Машинобудування. Чернігів: ЧНТУ, 2014. 50 с.

4. Кондращенко О. В. Конспект лекцій з курсу «Корозія та захист будівельних матеріалів та конструкцій» (для студентів 5 курсу усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст, магістр за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво»). Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 85 с.

5. Алімов В. І., Дурягіна З. А. Корозія та захист металів від корозії. Донецьк-Львів: ТОВ «Східний видавничий дім». 2012. 328 с.

6. Хімічні основи корозії конструкційних матеріалів / С. І. Козак, М. Г. Котур, М. В. Никипанчук, В. В. Григоращ. Львів: Ліга-Прес, 2001. 240 с.

7. Повзло В. М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Корозія та захист металів» для студентів спеціальності 136 «Металургія» усіх форм навчання. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 34 с.