

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт та самостійної роботи
з дисципліни «Антикорозійний захист обладнання»
для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування
усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 24.10.2024 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Антикорозійний захист обладнання» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» усіх форм навчання / уклад.: В. Б. Байрачний, Д. І. Нечипоренко, Т. Б. Новожилова, Т. С. Тихомирова; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – 39 с.

Укладачі: В. Б. Байрачний,
Д. І. Нечипоренко,
Т. Б. Новожилова,
Т. С. Тихомирова

Рецензент І.Л. Красніков

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

Зміст

Вступ	4
1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
1.1 Правила техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт	5
1.2 Лабораторна робота 1. Якісне дослідження електрохімічної корозії металів. Визначення катодних і анодних ділянок на поверхні сталі при її корозії у водно-сольовому розчині	7
1.3 Лабораторна робота 2. Дослідження контактної корозії металів. Контактна корозія з кисневою деполяризацією	11
1.4 Лабораторна робота 3. Кількісні показники швидкості електрохімічної корозії металів	14
1.5 Лабораторна робота 4. Захист металів від корозії інгібіторами	21
2 ЗМІСТ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ ТА ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ	28
2.1 Зміст розрахункових робіт	28
2.2 Зразок виконання завдання	30
2.3 Тести для проведення діагностики рівня підготовки студентів за дисципліною «Антикорозійний захист обладнання»	32
Список джерел інформації	36
Додаток А	37

Вступ

Дисципліна направлена на формування у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти знань і вмінь, необхідних для вирішення завдань, пов'язаними з антикорозійним захистом обладнання.

Мета викладання – сформувати у студентів поняття про закономірності корозійного процесу, дослідження кінетики та механізму корозійних реакцій у промислових розчинах, знання яких дає можливість класифікувати методи захисту матеріалів від корозійного руйнування та правильно вибрати конструкційний матеріал, який буде корозійно стійким у конкретних середовищах; дати багатогранну сучасну інформацію з основних розділів антикорозійного захисту обладнання, яка стане базою для вивчення інших профільних дисциплін старших курсів: машини і апарати хімічних підприємств, методи дослідження, діагностика, моніторинг стану машин та апаратів хімічних виробництв

1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1.1 Правила техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт

Перед початком виконання лабораторних робіт слід прослухати інструктаж з техніки безпеки який проводить відповідальний викладач або лаборант. Після проведення інструктажу з техніки безпеки студенти обов'язково повинні розписатися в журналі техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись усіх заходів безпеки, які наведені у спеціальних інструкціях в лабораторії.

Виконання лабораторних робіт потребує використання лабораторних халатів з бавовни, а також у разі потреби гумові рукавичці і респіратор або маску.

Категорично забороняється виконувати будь які досліди непередбачені лабораторним практикумом. На робочому місці слід підтримувати чистоту і порядок. Не допускати захаращування зайвими предметами і речовинами. Досліди з отруйними, леткими, легкозаймистими речовинами і речовинами зі специфічним запахом обов'язково проводять у витяжній шафі. Забороняється випробувати хімічні речовини на смак і нюхати гази, близько нахилиючись до посудини, а також пити в лабораторії воду і приймати їжу. Електричні прилади повинні бути заземлені і укомплектовані інструкціями по їх використанню. Забороняється залишати без догляду працююче електричне обладнання.

Усі хімічні реактиви слід зберігати тільки у відповідному посуді з етикетками.

Перед виконанням лабораторних робіт студенти погоджують їх виконання з викладачем. Особливу увагу і обережність слід проявляти при роботі з кислотами і лугами. Розбавлення сильних кислот здійснюють додаванням кислоти у воду у термостійких або фарфорових склянках, оскільки при цьому виділяється теплота. Відпрацьовані кислотні і лужні розчини зливають в спеціальні окремі ємності для подальшої їх утилізації. Досліди з

використанням органічних розчинників слід виконувати у витяжній шафі і за відсутності поряд відкритого полум'я.

При потрапленні кислоти на шкіру необхідно дуже швидко змити її великою кількістю проточної води, а потім промити розчином соди. При опіку їдкими лугами після промивання проточною водою шкіру необхідно додатково промити розбавленою оцтовою кислотою.

При термічному опіку виконують багаторазові примочки уражених місць спиртовим розчином тоніку або слабким розчином перманганату калію чи спирту і покривають маззю на основі сульфідинової емульсії.

У разі потраплення в очі хімічних реактивів треба їх негайно промити великою кількістю води і звернутися до лікаря.

При виникненні пожежі необхідно вимкнути усі електроприлади, прибрати горючі речовини від вогню, засипати піском або накрити вогнище азбестовою ковдрою. Велике полум'я слід гасити за допомогою вогнегасника (краще використовувати вуглекислотний вогнегасник) або викликати пожежників.

1.2 Лабораторна робота 1. Якісне дослідження електрохімічної корозії металів. Визначення катодних і анодних ділянок на поверхні сталі при її корозії у водно-сольовому розчині

Мета роботи – якісне дослідження роботи корозійних елементів на сталі у водно-сольовому розчині при її електрохімічній корозії з кисневою деполяризацією.

Основні теоретичні відомості

При електрохімічній корозії метал окислюється і переходить у середовище, утворюючи хімічні сполуки з його компонентами, а окисник (деполяризатор) корозійно-активного середовища відновлюється за рахунок прийняття вивільнених електронів. Обидва процеси спряжені між собою і перебігають на окремих ділянках поверхні. Внаслідок цього в корозійній системі виникає електричний струм, що є характерною ознакою електрохімічних процесів. У металі струм зумовлений рухом електронів, а у розчині – іонів.

Розчини, які контактують з повітрям, завжди містять деяку кількість розчиненого молекулярного кисню O_2 , який здатний виступати окисником металу і викликати перебіг корозії.

Електрохімічну корозію сталі у розчинах електролітів з кисневою деполяризацією відображують як роботу короткозамкнених корозійних елементів, що складається з анодної реакції окиснення металу і катодної реакції відновлення розчиненого у воді кисню. Для випадків корозії сталі у нейтральних водно-сольових середовищах сказане можна подати схемою наведеною на рис. 1.2.1.

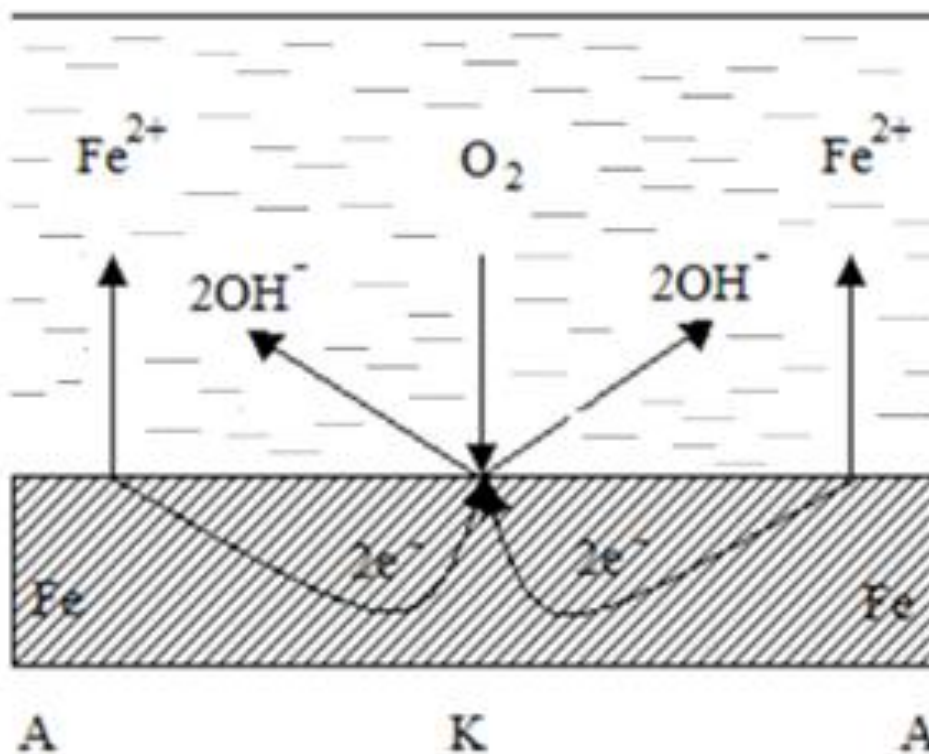
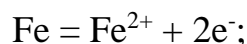


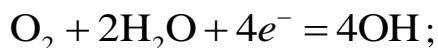
Рисунок 1.2.1 – Схема розподілу катодних і анодних ділянок під час електрохімічної корозії з кисневою деполаризацією

Анодний процес – корозійна іонізація (окиснення) металу:



$$E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В.}$$

Катодний процес – відновлення деполаризатора (кисню):



$$E_{\text{O}_2/\text{OH}^-}^0 = 0,83 \text{ В.}$$

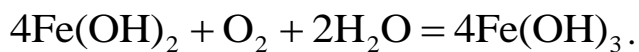
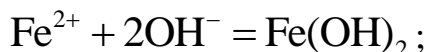
$$\text{pH} = 7.$$

Електродні рівноваги катодної та анодної реакцій і відповідні їм стандартні потенціали наведені у додатку.

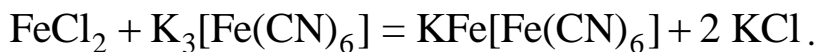
Мимовільний перебіг корозії є термодинамічно можливим, коли потенціал окисника перевищує потенціал відновника

$$E_{\text{O}_2/\text{OH}^-}^0 > E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0.$$

Електрохімічні стадії корозії супроводжуються вторинними хімічними реакціями у прилеглому до металу об'ємі розчину:



Присутність на поверхні металу анодних і катодних ділянок та їх розподіл визначають за допомогою фероксил-індикатору, який містить червону кров'яну сіль $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і фенолфталеїн. На анодних ділянках спостерігається утворення синіх плям за рахунок реакції катіонів Fe^{2+} з червоною кров'яною сіллю:



Червона кров'яна сіль

Турнбулева синь

На катодних ділянках, де відбувається підлужування приповерхневого водного розчину OH^- -іонами, виникає рожеве забарвлення фенолфталеїну, який входить до складу фероксил-індикатор.

Експериментальна частина

Обладнання і матеріали

Зразки сталі 08кп у вигляді пластинок розміром приблизно 2×2 см. Дрібний наждаковий папір. Дистильована вода для ополіскування поверхні металу. М'яка гумка. Фільтрувальний папір. Фероксил-індикатор – 10 % -ний водний розчин NaCl , загущений агар-агаром (10 %), що містить червону кров'яну сіль та фенолфталеїн (по 1 г. у 100 мл. розчину). Піпетка. Скляна паличка.

Порядок виконання роботи

Сталеву пластину зачищають дрібним наждаковим папером, промивають у струмені водопровідної води з потиранням поверхні м'якою гумкою,

ополіскують дистильованою водою та промокають фільтрувальним папером.

На стрічку фільтрувального паперу наносять рідину фероксил-індикатору піпеткою і щільно притискають її до сталевій поверхні обертанням скляної палички. З часом спостерігається на вологому папері утворення синіх (на анодних ділянках) та рожевих (на катодних ділянках) плям.

Результати роботи з викладенням теоретичних відомостей щодо змісту досліджень, детальним описом виконання досліду, рівняннями реакцій електрохімічної корозії сталі, обґрунтуванням можливого їх мимовільного перебігу та необхідними ілюстраціями, схемами і рисунками заносять у протокол-звіт.

За результатами виконаних досліджень формулюють висновки, які відображують зміст корозійного руйнування сталі у водно-сольових розчинах з кисневою деполяризацією.

Контрольні запитання і завдання

1. Визначить, для яких з наведених нижче металів можливий мимовільний перебіг електрохімічної корозії з кисневою деполяризацією у розчинах NaCl (необхідні електродні реакції і потенціали наведені у додат. А): сталь, золото, цинк, купрум.

2. Поясніть, чим зумовлений характер розподілу катодних і анодних ділянок при щільовій корозії сталі з кисневою деполяризацією у водно-сольових розчинах.

1.3 Лабораторна робота 2. Дослідження контактної корозії металів.

Контактна корозія з кисневою деполяризацією

Мета роботи – якісне дослідження впливу контактів різних металів на характер роботи корозійних елементів у водно-сольових розчинах при електрохімічній корозії з кисневою та водневою деполяризацією, визначення розподілу катодних і анодних ділянок у контактних парах різних металів при їх корозії з кисневою деполяризацією у нейтральних розчинах електролітів.

Теоретична частина

В реальних умовах застосовуються технічні конструкційні метали, які містять включення інших металів та їх похідних речовин (типу цементину у сталях Fe_3C) або контактують з ними. Внаслідок цього окремі ділянки набувають різних потенціалів, що створює електрохімічну гетерогенність поверхні. За рахунок цього на більш електропозитивних ділянках локалізується катодний процес відновлення деполяризатора середовища, а анодний процес корозійного руйнування – на більш активних металах. Виникають короткозамкнені гальванічні (корозійні) елементи, завдяки роботі яких сильно прискорюється корозійне руйнування більш електронегативних металів. Це потребує визначення у таких випадках характеру розподілу катодних і анодних ділянок корозійного процесу для з'ясування місць руйнування металічних конструкцій.

Експериментальна частина

Обладнання і матеріали

Пластинки цинку, алюмінію чи сталі, які мають макровключення міді (рис. 1.3.1), готують і досліджують з використанням фільтрувального паперу, змоченого і притиснутого до зразка як зазначено у лабораторній роботі 1.

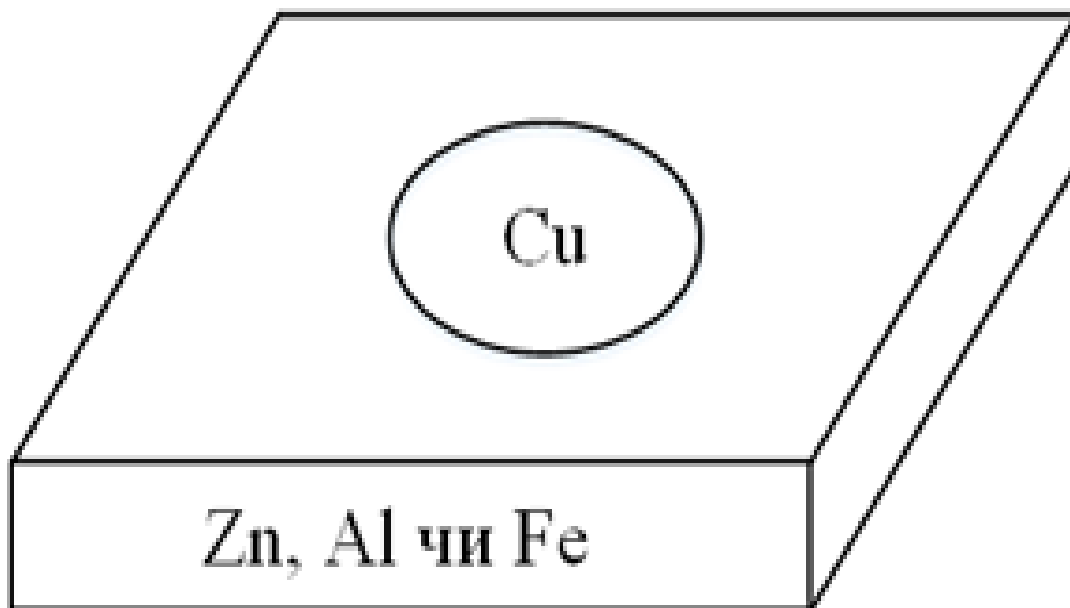


Рисунок 1.3.1 – Експериментальний зразок для дослідження контактної корозії з кисневою деполяризацією

Порядок виконання роботи

До підготовлених пластинок цинку, алюмінію або сталі, які мають включення міді, притискають фільтрувальний папір, змочений фероксил-індикатором. У водно-сольовому розчині, який створюється середовищем кольорового індикатора, корозійним деполяризатором виступає молекулярний кисень. Катодний процес відновлення окисника O_2 локалізується на менш активному металі, якому відповідає більший електродний потенціал, а анодний процес корозійного руйнування – на більш електронегативному металі з меншим електродним потенціалом.

Внаслідок такого характеру перебігу корозійного процесу буде спостерігатися відповідне забарвлення кольорового індикатора на окремих ділянках. Для пояснення спостережених ефектів наведіть електродні напівреакції катодного і анодного процесів корозії, їх потенціали та позначте на рисунках і обґрунтуйте розподіл індикаторних плям, їх колір та число.

Контрольні запитання і завдання

1. Поясніть, чим зумовлений розподіл катодної і анодної ділянок під час контактної корозії у системі $\text{Cu} - \text{Fe}$:
 - а) з кисневою деполяризацією;
 - б) з водневою деполяризацією.
2. Наведіть фактори, що прискорюють корозійні процеси металів у розчинах електrolітів.
3. Поясніть, чому при нанесенні фероксил-індикатору на цинкову пластину з крапленням міді характерний колір виникає тільки на одному з металів.
4. Поясніть термодинамічну можливість перебігу електрохімічної корозії:
 - а) з кисневою деполяризацією;
 - б) з водневою деполяризацією.

1.4 Лабораторна робота 3. Кількісні показники швидкості електрохімічної корозії металів

Мета роботи – визначення термодинамічної можливості електрохімічної корозії металів у розчинах кислот та застосування різних показників для позначення їх швидкості.

Теоретичні відомості

При корозії металу з водневою деполяризацією катодна реакція полягає у відновленні іонів водню (H^+), які виступають окисниками по відношенню до металу, що зазнає окиснення (іонізації) у спряженій анодній реакції (рис. 1.4.1).

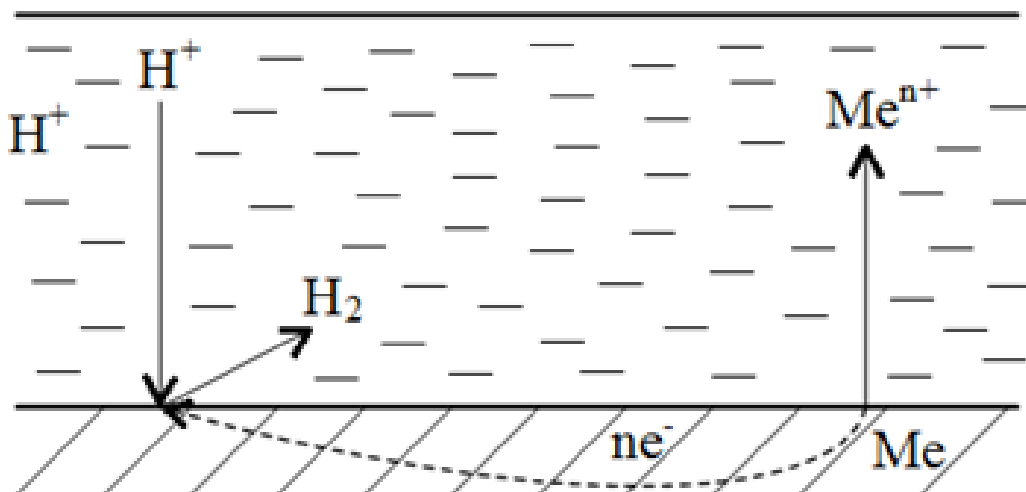


Рисунок 1.4.1 – Схема корозії металів з водневою деполяризацією

Анодний процес: $Me = Me^{n+} + ne^-$.

Катодний процес: $2H^+ + 2e^- = H_2$.

З водневою деполяризацією кородують у розчинах кислот сталеві цистерни, трубопроводи, ємності, метали і металовироби, поверхня яких піддається кислотній обробці (травленню) з метою очищення від іржі та окалини перед нанесенням гальванічних, лакофарбових, полімерних та інших покриттів.

Корозії з водневою деполяризацією звичайно зазнають метали, які в ряду

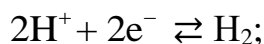
напруг розташовані до водню і характеризуються від'ємними значеннями стандартних електродних потенціалів.

Корозія металів з водневою деполяризацією відбувається тоді, коли виправдовується термодинамічний критерій їх мимовільного перебігу – потенціал водневого електрода у даному середовищі за даних умов є більшим за потенціал металу:

$$E_{\text{H}^+/\text{H}_2} > E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}.$$

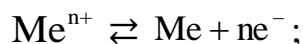
Оборотні потенціали водневого і металічного електродів обчислюють за рівнянням Нернста, яке для цих електродів має вигляд:

- Електродна рівновага і рівняння Нернста для водневого електрода:



$$E_{\text{H}^+/\text{H}_2} = E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \lg \frac{C_{\text{H}^+}^2}{P_{\text{H}_2}}.$$

- Електродна рівновага і рівняння Нернста для металічного електрода:



$$E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}} = E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \lg C_{\text{Me}^{n+}},$$

де E^0 – стандартні електродні потенціали (наведені у додат. А); R і T –

відповідно універсальна газова стала $\left(8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \right)$ і абсолютна температура,

K ; F – число Фарадея $\left(96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль-екв.}} \right)$; n – число електронів в електродній

рівновазі; P_{H_2} – парціальний тиск водню в атмосфері (атм.); C – молярна

концентрація іонів у розчині (для більш коректних обчислень застосовується

величина активності іонів у розчині a_{H^+} і $a_{\text{Me}^{n+}}$).

Якщо $T = 298,15 \text{ К}$, то $2,303 \frac{RT}{F} = 0,0592$. Тоді для водневого електрода вираз оборотного потенціалу має вигляд

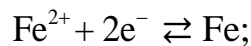
$$E_{\text{H}^+/\text{H}_2} = \frac{0,0592}{2} \lg \frac{C_{\text{H}^+}^2}{P_{\text{H}_2}},$$

або спрощено (при $P_{O_2} = 1$ атм) $E_{H^+/H_2} = 0,0592 \lg C_{H^+}$.

Враховуючи, що $pH = -\lg C_{H^+}$, то $E_{H^+/H_2} = -0,0592 pH$:

- При $pH = 0$: ($C_{H^+} = 1$ моль/л); $E_{H^+/H_2}^0 = 0,00$ В.
- При $pH = 7$: ($C_{H^+} = 10^{-7}$ моль/л); $E_{H^+/H_2}^0 = -0,41$ В.
- При $pH = 14$: ($C_{H^+} = 10^{-7}$ моль/л); $E_{H^+/H_2}^0 = -0,83$ В.

Якщо припустити, що концентрація іонів Fe^{2+} у розчині дорівнює $C_{Fe^{2+}} = 10^{-2}$ моль/л, то потенціал залізного електрода дорівнюватиме:



$$E_{Fe^{2+}/Fe} = E_{Fe^{2+}/Fe}^0 + \frac{0,0592}{2} \lg C_{Fe^{2+}};$$

$$E_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44 + 0,0296 \lg 10^{-2} = -0,5 \text{ В.}$$

При порівнянні обчисленого потенціалу залізного електрода (при $C_{Fe^{2+}} = 10^{-2}$ моль/л) з потенціалами водневого електрода за різних молярних концентрацій іонів гідрогену (H^+) та pH розчинів можна дійти до висновку, що корозія заліза з водневою деполіаризацією термодинамічно можлива у широкому діапазоні C_{H^+} і pH.

Здатність металів протистояти корозійному впливу зовнішнього середовища називають корозійною стійкістю. Корозійна стійкість характеризується швидкістю, яка визначається показниками корозії.

До найважливіших кількісних показників корозії металів належить:

▪ **Масометричний показник** – це зміна маси зразка металу (Δm , г) внаслідок корозії за одиницю часу (τ , годин) на одиниці поверхні (S , m^2). При зменшенні маси зразка його обчислюють із співвідношення:

$$K_m^- = \frac{m_0 - m}{S\tau}; \quad \frac{\Gamma}{m^2 \cdot \text{ГОД}}$$

Експериментально визначена величина масометричного показника дозволяє у разі рівномірної корозії обчислити інші важливі показники – глибинний, об’ємний і струмовий.

▪ **Глибинний показник** – це глибина проникнення корозії у метал за одиницю часу (τ , рік):

Зв’язок між K_h і K_m можна отримати на підставі наступних міркувань (рис. 1.4.2).

Позначимо через h , мм глибину проникнення корозії, а площу поверхні – через S .

Тоді зменшення маси зразка буде

$$h = \frac{\Delta m}{S\rho},$$

де ρ – густина металу, г/см^3 , а глибина проникнення корозії стане:

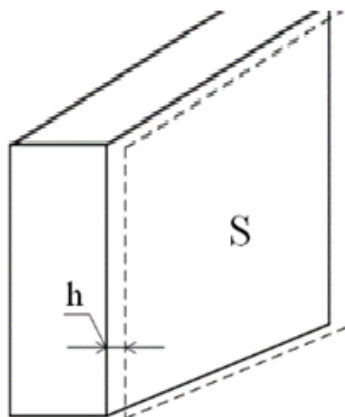


Рисунок 1.4.2 – Схема корозії металу для визначення глибинного показника

Останнє підставимо у вираз для глибинного показника:

$$K_h = \frac{\Delta m}{S\tau\rho}.$$

Для того, щоб застосовувати K_m в $\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ і ρ в г/см^3 та отримувати K_h в мм/рік необхідно застосувати відповідні множники:

$$K_h = K_m^- \cdot \frac{\text{Число годин у році}}{\rho \cdot 1000}, \text{ мм/рік.}$$

$$\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad \frac{\text{г/см}^3}{\text{г/см}^3}$$

За значенням глибинного показника корозії створена 10-ти бальна шкала корозійної стійкості металів, яка дозволяє охарактеризувати корозію групою і балом стійкості (табл. 1.4.1). Вона застосовується на практиці при підборі металів в практичних та конструкторських роботах. Наприклад, треба визначити, який припуск необхідно взяти для труби, яка має 5 бал корозійної стійкості у середовищі експлуатації, для забезпечення її роботи протягом 15 років. Оскільки при цьому $K_h = 0,05 - 0,1$ мм/рік, то товщину припуску слід взяти у межах 0,75 – 1,5 мм.

Таблиця 1.4.1 – Десятибальна шкала корозійної стійкості металів

Група стійкості	Глибинний показник корозії, K_h , мм/рік	Бал стійкості
I Цілковито стійкі метали	Менш 0,001	1
II Дуже стійкі метали	0,001 – 0,005	2
	0,005 – 0,01	3
III Стійкі метали	0,01 – 0,05	4
	0,05 – 0,1	5
IV Відносно стійкі метали	0,1 – 0,5	6
	0,5 – 1,0	7
V Малостійкі метали	1,0 – 5,0	8
	5,0 – 10,0	9
VI Нестійкі метали	Більше 10,0	10

У хімічній промисловості зазвичай застосовують метали, які належать до I і II груп, рідше III – IV.

Експериментальна частина

Обладнання і матеріали

Пластинки сталі розміром приблизно 2×2 см. Дрібний наждачний папір. Дистильована вода для ополіскування зачищеної поверхні металу (з обох

сторін). М'яка гумка. Фільтрувальний папір, сушильна шафа, для висушування зразків. Сульфатна кислота 7,5 % -ної концентрації. Аналітичні або електричні терези (точність зважування до четвертого знаку після коми). Стакани ємністю 200–250 мл.

Порядок виконання роботи

Для досліджуваного металу (Fe, Al, Zn) у 7,5 % -ній сульфатній кислоті визначають термодинамічну можливість перебігу корозії з водневою деполаризацією. Застосовують наведений раніше критерій

$$E_{\text{H}^+/\text{H}_2} > E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}},$$

для якого обчислюють за рівнянням Нернста величини рівноважних потенціалів водневого і металічного електродів для конкретного металу і концентрації сульфатної кислоти. При обчисленні $E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}$ приймають концентрацію іонів металу у розчині $C_{\text{Me}^{n+}} = 10^{-3}$ моль/л, а водневого $E_{\text{H}^+/\text{H}_2}$ – виходячи із зазначеної концентрації сульфатної кислоти (7,5 % H_2SO_4) (парціальний тиск водню у повітрі P_{H_2} приблизно прийняти 1 атм).

Пластину металу (Fe, Al, Zn) з вимірною загальною площею поверхні зачищають дрібним наждачним папером, промивають у струмені водопровідної води з одночасним потиранням м'якою гумкою, ополіскують дистильованою водою, промокають фільтрувальним папером і висушують у сушильній шафі.

Охолоджений до кімнатної температури зразок зважують на аналітичних терезах (m_0) і на скляному гачку завішують у 7,5 % розчин сульфатної кислоти, попередньо залитий у стакан ємністю 200 мл (рис. 1.4.3). Після випробування протягом 1 – 1,5 години зразок виймають з розчину кислоти, промивають у струмені водопровідної води з потиранням поверхні м'якою гумкою, ополіскують дистильованою водою, промокають фільтрувальним папером і висушують у сушильній шафі.

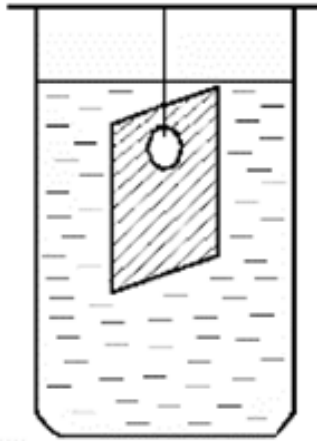


Рисунок 1.4.3 – Визначення масометричного показника корозії

Охолоджений зразок металу зважують на аналітичних терезах (m) і визначають зменшення його маси внаслідок корозії ($\Delta m = m_0 - m$). Обчислюють масометричний показник кислотної корозії металу, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ і на його основі – глибинний показник K_h . Далі визначають групу і бал стійкості металу по 10 -ти бальній шкалі.

Контрольні запитання і завдання

1. Визначить, чи можлива корозія з водневою деполяризацією металів Cu і Ni у водному розчині з $\text{pH} = 3$ (концентрацію катіонів Cu^{2+} чи Ni^{2+} прийняти за 10^{-3} моль/л).
2. Обчисліть масометричний показник корозії сталі, якщо глибинний показник у цьому ж середовищі становить $0,1$ мм/рік.
3. Визначить розрахунками, чи можлива корозія сталі з водневою деполяризацією у водному розчині з $\text{pH} = 2$ і $\text{pH} = 10$.
4. Обчисліть, як зміниться потенціал залізного електрода при підвищенні концентрації його катіонів у розчині від $C_{\text{Fe}^{2+}} = 10^{-3}$ до $C_{\text{Fe}^{2+}} = 10^{-2}$ моль/л.

1.5 Лабораторна робота 4. Захист металів від корозії інгібіторами

Мета роботи – ознайомлення з основними методами захисту металів від корозійного руйнування. Застосування масометричного методу для визначення ефективності дії інгібіторів при кислотній корозії металів.

Основні теоретичні відомості

Корозію металів та її наслідків можна зменшити на стадії проектування металовиробів. Треба запобігати будь-якої неоднорідності конструкцій. Необхідно підбирати метали і сплави близькі за своїми електрохімічними характеристиками у середовищах їх використання. Слід запобігати різких поворотів, гострих кутів, застійних зон, щілин тощо, які можуть створювати умови для виникнення кавітаційної корозії, термодорозії, елементів диференціальної аерації тощо.

Методи захисту металів від корозії при їх експлуатації можна поділити на три групи.

Перша група.

Методи, пов'язані зі зміною властивостей металів з метою підвищення їх корозійної стійкості.

Легування металів. Полягає у введенні в основний метал інших металів, здатних створювати поверхневі пасивні оксидні плівки. На цьому базується виробництво нержавіючих сталей, наприклад Х18Н9, що містить 17–19 % хрому і 8–10 % нікелю.

Зміна поверхневих властивостей металів. Досягається нанесенням ізолюючих покриттів (металічних і неметалічних). Металічні покриття розрізняють на катодні і анодні. До катодних належать покриття, при частковому руйнуванні яких на них локалізується катодний процес контактної корозії (Cu, Ni, Cr і Ag) (рис. 1.5.1).

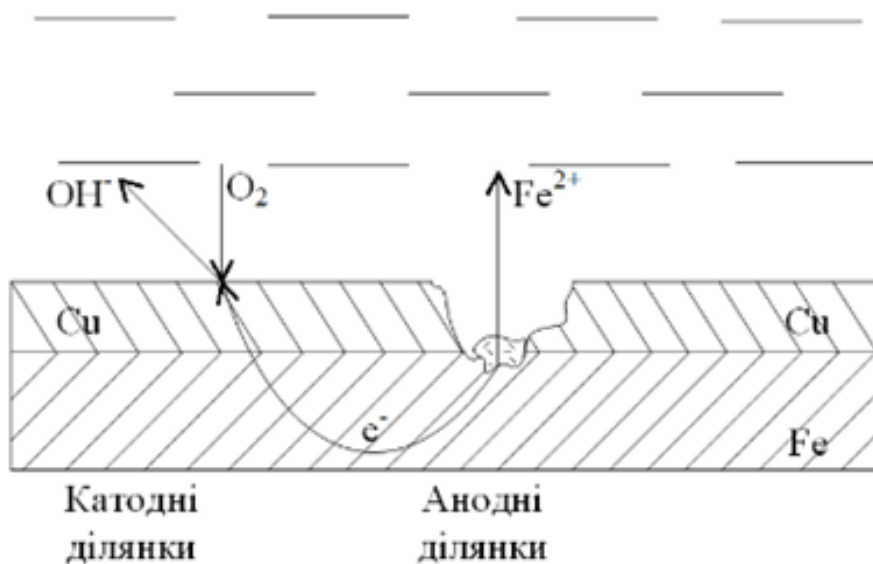


Рисунок 1.5.1 – Схема розподілу катодних і анодних процесів при частковому руйнуванні катодного покриття

Тому дія катодних покриттів полягає тільки у механічному екрануванні основного металу. При їх руйнуванні виникають контактні пари і корозія основного металу прискорюється.

До анодних покриттів належать метали, які є більш активними, ніж основний метал (Zn на сталях) (рис. 1.5.2).

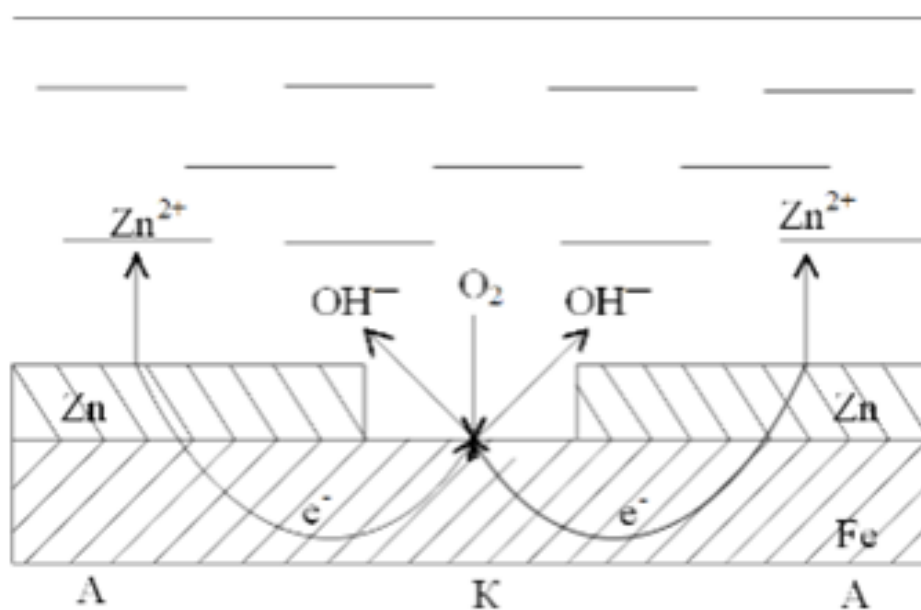
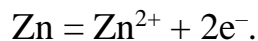
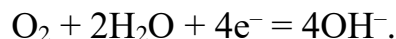


Рисунок 1.5.2 – Схема розподілу катодних і анодних процесів при частковому руйнуванні анодного покриття

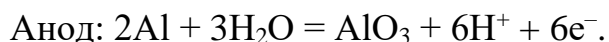
Анодний процес корозії



Катодний процес корозії



Створення на поверхні металів та за його участю захисних пасивуючих плівок. Наприклад, хімічне окиснення сталі неорганічними окисниками. На поверхні сталі виникає оксидний шар гідратованих Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Оксидні плівки можна формувати також електрохімічним окисненням (наприклад, анодування алюмінію)



Захист металів можна проводити неметалічними ізолюючими покриттями (мінеральні мастила, вазелін, парафін, лакофарбові покриття, гумування, футерування, емальювання).

Друга група.

Електричні методи захисту металів від електрохімічної корозії.

Їх зміст полягає у зміні електрохімічних властивостей металів під дією поляризуючого струму.

Поширення набув *катодний захист* металів, який полягає у накладанні на них катодної поляризації від зовнішнього джерела постійного струму (рис. 1.5.3).

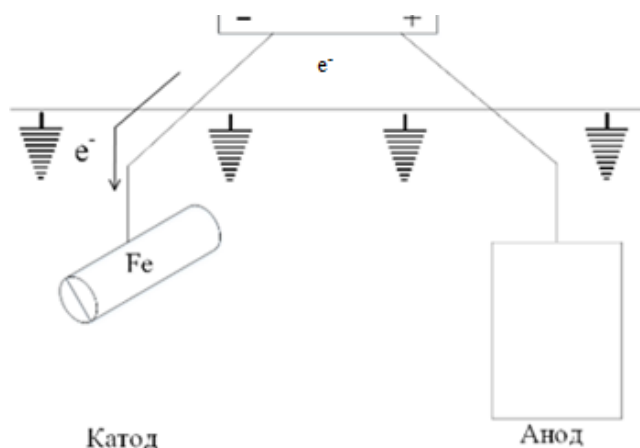
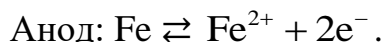


Рисунок 1.5.3 – Схема катодного захисту сталі

При зміщенні потенціалу металу у бік електронегативних значень швидкість анодної реакції корозійної іонізації металу зменшується



Катодна поляризація металу, що піддається захисту, може бути досягнутою також шляхом створення гальванічної пари з більш активним металом (цинком, алюмінієм, магнієм та їх сплавами), які відіграють роль анодів (жертвенних анодів) і розчиняються, створюючи в системі електричний струм необхідної сили (рис. 1.5.4). Такий метод отримав назву *протекторного захисту*.

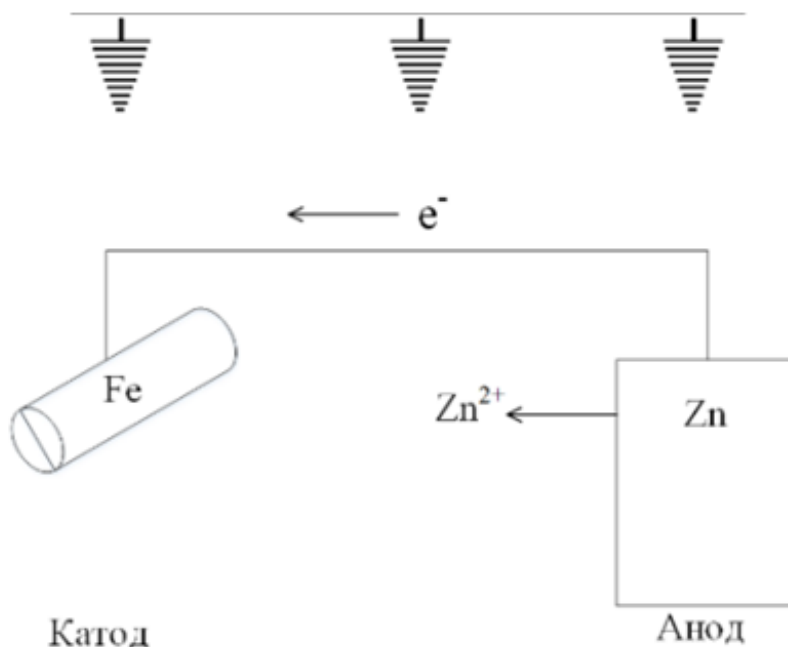


Рисунок 1.5.4 – Схема протекторного захисту сталі

Захист металів катодною поляризацією застосовується по відношенню до підземних комунікацій, морських суден, хімічного обладнання і т. ін.

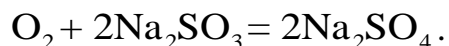
Третя група.

Методи пов'язані зі зміною властивостей корозійного середовища.

Таких методів існує декілька, основні з яких наступні:

- Зменшення вмісту у середовищі агресивних компонентів (деаерація розчинів газами, приведення значення рН до нейтрального, вилучення кисню

відновниками



▪ Застосування інгібіторів корозії – спеціально підібраних речовин, які вводять, в малій кількості у корозійне середовище, в пакувальні засоби та захисні покриття (мастила, лаки, фарби, полімери тощо) і знижують швидкість корозійного руйнування металів. Їх захисна дія пов'язана зі зміною у стані поверхні металу та кінетиці реакцій, які лежать в основі корозійного процесу.

Для нейтральних водно-сольових розчинів найчастіше застосовують неорганічні речовини аніонного типу. Їх гальмуюча дія пов'язана з окисненням поверхні металу (нітриди NO_2^- , хромати CrO_4^{2-}) з утворенням оксидних захисних плівок, або з утворенням за участю продуктів корозії важкорозчинних сполук (фосфатів, гідрофосфатів, силікатів тощо).

Як інгібітори корозії металів у кислих розчинах застосовуються переважно органічні речовини, які містять функціональні групи з атомами нітрогену, сірки, кисню (аміни, іміни, амідні кислоти, карбонові кислоти тощо). Дія інгібіторів кислотної корозії обумовлена їх адсорбцією на поверхні металу та гальмуванням адсорбованими молекулами або іонами катодного і анодного процесів, що знижує загальну швидкість корозії.

Інгібітори належать до ефективних, економічно доцільних та універсальних методів захисту металів від корозії. Їх застосовують практично в усіх галузях промисловості для захисту металів у водно-сольових розчинах (прісна та морська вода, оборотні води, антифризи тощо), в атмосферних умовах, в гетерогенних системах вуглеводні – вода (добування, транспортування та зберігання у нафтогазовій промисловості), у розчинах кислот при їх транспортуванні і зберіганні, при травленні металів з метою очищення кислотами їх поверхонь від іржі та окалини перед нанесенням гальванічних, лакофарбових, полімерних та інших покриттів.

Ефективність інгібіторів оцінюється за допомогою коефіцієнта гальмування γ , який показує у скільки разів зменшується швидкість корозії

внаслідок застосування інгібітору

$$\gamma = \frac{K_m^-}{K_m^-(\text{ін.})},$$

де K_m^- і $K_m^-(\text{ін.})$ – відповідно показники корозії металу у середовищі без інгібіторів і у їх присутності;

або ступенем захисту, який показує на скільки знижується швидкість корозії:

$$Z = \frac{K_m^- - K_m^-(\text{ін.})}{K_m^-};$$
$$Z = 1 - \frac{1}{\gamma},$$

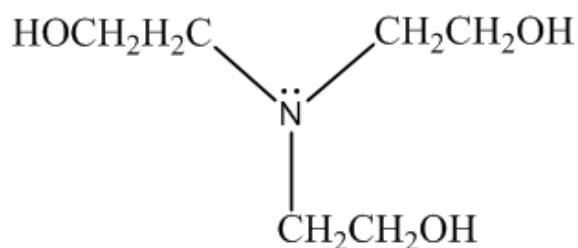
чи в процентах:

$$Z = \frac{K_m^- - K_m^-(\text{ін.})}{K_m^-} \cdot 100\% ;$$
$$Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \cdot 100\% .$$

Експериментальна частина

Обладнання і матеріали

Використовують обладнання і матеріали як у попередній лабораторній роботі 3. Інгібітором слугує триетаноламін, який належить до органічних амінів з катіоноактивною функцією



Порядок виконання роботи

У розчин 7,5 % сульфатної кислоти додають наважку інгібітора триетаноламіну із розрахунку 3 мл/л. Досліди по визначенню швидкості корозії

металів (пластини Fe, Al, Zn) виконують за методикою наведеною у попередній лабораторній роботі 3, і роблять порівняння швидкості корозії зазначених металів з результатами роботи 3 отриманими у чистих розчинах 7,5 % соляної кислоти.

На підставі результатів зважування пластинок металів до і після корозійного випробування протягом 1–1,5 год, обчислюють відповідні масометричні показники швидкості корозії металів в інгібованих кислотах

$$(K_m^-(\text{ін.})).$$

На основі масометричних показників обчислюють глибинні показники корозії ($K_h(\text{ін.})$) та визначають групу стійкості і бал стійкості металів в інгібованій кислоті по десяти бальній шкалі (табл. 3.1).

Далі знаходять коефіцієнти гальмування γ і ступінь захисту Z , які досягаються за рахунок застосування інгібітору і пояснюють механізм його дії.

Контрольні запитання і завдання

1. Поясніть зміст методів захисту металів від корозії за допомогою зміни властивостей корозійного середовища.
2. Наведіть приклади методів боротьби з корозією металів:
 - у розчинах кислот;
 - у нейтральних розчинах електролітів.
3. Наведіть приклади органічних і неорганічних речовин, які застосовуються як інгібітори корозії:
 - у розчинах кислот;
 - у нейтральних водно-сольових розчинах.
4. Поясніть відмінності у захисній дії катодних і анодних покриттів на сталі.

2 ЗМІСТ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ ТА ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ

2.1 Зміст розрахункових робіт

Розрахункова робота 1

Виходячи з даних табл. 2.1 необхідно:

- визначити можливість руйнування металу;
- скласти рівняння анодного й катодного процесів, що можуть мати місце при цьому, прийнявши $\phi^0 = 0,401$ В;
- розрахувати, як треба змінити концентрацію іонів металу, щоб при даному значенні рН середовища, загальмувати корозію металів;
- указати, чи є даний процес процесом з водневою або кисневою деполяризацією.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

№	Метал	Концентрація іонів металу, моль/л	рН середовища	№	Метал	Концентрація іонів металу, моль/л	рН середовища
1	Mg	10^{-2}	1	6	Fe	10^{-1}	5
2	Be	10^{-6}	2	7	Cd	10^{-8}	7
3	Al	10^{-5}	4	8	Ti	10^{-2}	4
4	Zn	10^{-3}	6	9	Pb	10^{-3}	3
5	Cr	10^{-5}	3	10	Co	10^{-4}	1

Розрахункова робота 2

Розрахунковим шляхом довести, виходячи зі значення стандартного електродного потенціалу кисню, рівного 0,401 В, який метал буде руйнуватися при порушенні цілісності плівки покриваючого металу (табл. 2.2) в умовах вологого повітря а також:

- скласти рівняння анодного й катодного процесів і вказати найважливіші продукти корозії;
- визначити тип металевого покриття (анодне або катодне);
- розрахувати, знаючи товщину шару загубленого металу (мм) і тривалість експлуатації даного покриття (дні), швидкість корозії;
- знайти стійкість металу, що руйнується, до корозії по десятибальній шкалі корозійної стійкості (табл. 1.4.1).

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку

№	Основний метал	Метал, що покриває	Товщина шару втраченого металу, мм	Тривалість експлуатації, дні
1	Fe	Zn	$2,8 \times 10^{-3}$	20
2	Cu	Ag	4×10^{-3}	130
3	Al	Cu	$9,8 \times 10^{-3}$	45
4	Cu	Au	$4,9 \times 10^{-3}$	200
5	Fe	Ni	42	170
6	Ni	Cr	$5,7 \times 10^{-3}$	35
7	Fe	Sn	50	212
8	Fe	Al	67	305
9	Sn	Zn	$3,2 \times 10^{-3}$	160
10	Zn	Cr	$1,3 \times 10^{-3}$	80

2.2 Зразок виконання завдання

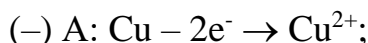
Приклад 1.

Визначити можливість руйнування металу Cu у розчині, у якому концентрація іонів Cu^{2+} дорівнює 10^{-4} моль/л і рН середовища дорівнює 7. Скласти рівняння анодного й катодного процесів.

Як треба змінити (збільшити або зменшити) концентрацію іонів металу Cu^{2+} , щоб при даному значенні рН загальмувати корозію цього металу Cu. Указати, чи є даний процес процесом з водневою деполяризацією або з кисневою деполяризацією.

Рішення.

Оскільки рН середовища дорівнює 7, середовище нейтральне й можна чекати корозію міді з кисневою деполяризацією. Можливі процеси, що протікають на анодних і катодних ділянках міді, можуть бути представлені в найпростішому виді рівняннями:



Можливість процесу корозії буде обумовлена позитивними значеннями ЕДС корозійного гальванічного елемента. Електродні потенціали катода й анода обчислюємо, використовуючи формулу Нерста

$$\varphi_{\text{Cu}} = \varphi^0_{\text{Cu}} + (0,059/n) \cdot \lg c_{\text{Cu}} = 0,34 + (0,059/2) \cdot \lg 10^{-4} = 0,3 - 0,11 = 0,222 \text{ В.}$$

Оскільки ЕДС для даного процесу має позитивне значення, рівне +0,222 В, значить руйнування міді буде мати місце.

Для зменшення корозії міді концентрацію іонів Cu^{2+} варто збільшити, так тільки в цьому випадку, відповідно до формули Нерста, електродний потенціал мідного електрода зросте, і різниця $\varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}}$ стане ≥ 0 .

Приклад 2.

Розрахунковим шляхом довести, який метал, Ni або Fe, буде руйнуватися при порушенні цілісності плівки нікелю, що покриває залізо, в умовах вологого

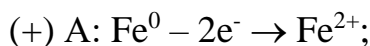
повітря. Товщина шару втраченого металу 46 мм, тривалість експлуатації 17 днів.

Рішення.

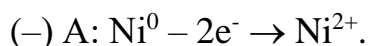
Спрямованість будь-якого окислювально-відновного процесу визначається значенням ЕДС процесу. Тому що корозія має місце в нейтральному середовищі, катодний процес можна виразити рівнянням



Анодний процес у нашому випадку може бути описаний наступним рівнянням



або



Розрахунок ЕДС для першого випадку дає значення:

$$\text{ЕДС} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}} = \varphi_{\text{O}_2} - \varphi_{\text{Fe}};$$

$$\text{ЕДС} = 0,401 - (-0,44) = 0,841 \text{ В.}$$

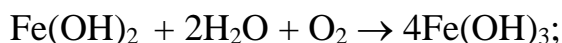
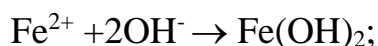
Для другого випадку:

$$\text{ЕДС} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}} = \varphi_{\text{O}_2} - \varphi_{\text{Ni}};$$

$$\text{ЕДС} = 0,401 - (-0,25) = 0,651 \text{ В.}$$

Тому що для першого випадку ЕДС процесу корозії більше, значить піддано корозії буде залізо. Воно буде анодом у корозійному гальванічному елементі, а нікель катодом. Тобто покриття – катодне.

Продуктами корозії будуть:



Швидкість корозії найчастіше вимірюють у мм шару, втраченого металу

за один рік (365 днів). Позначимо її через ω і виразимо рівнянням

$$\omega = S/t,$$

де S – товщина шару втраченого металу, мм; t – час, років.

$$\omega = (46 \times 17 / 365) = 2,14 \text{ мм/рік.}$$

По десятибальній шкалі корозійної стійкості залізо, тобто дану марку стали, варто віднести до низько стійких конструкційних матеріалів. Тому подальша експлуатація такої конструкції недоцільна.

2.3 Тести для проведення діагностики рівня підготовки студентів за дисципліною «Антикорозійний захист обладнання»

1. Який процес називають корозією металів?

- а) руйнування металів від статичних механічних навантажень;
- б) руйнування металів при циклічних навантаженнях;
- в) руйнування металів при хімічній і електрохімічній взаємодії з агресивним середовищем;
- г) руйнування металів при їх тривалій експлуатації.

2. Хімічна корозія відбувається при взаємодії металів:

- а) з розчинами електролітів;
- б) з сухими газами при високих температурах або з неелектролітами;
- в) з парами низькокиплячих рідин;
- г) з розчинами полярних рідин.

3. Який найстаріший метод одержання металевих захисних покриттів?

- а) термодифузійний;
- б) метод занурення в розплавлений метал-покриття;
- в) плакірованіє;

г) металізація напиленням.

4. Електрохімічна корозія відбувається при взаємодії металів:

- а) з розчинами неелектролітів;
- б) з розчинами органічних рідин;
- в) з розчинами електролітів;
- г) з розчинами неполярних рідин.

5. Захисними властивостями володіють оксидні плівки:

- а) середні товщиною 40 ... 500 нм;
- б) суцільні плівки;
- в) товсті товщиною понад 500 нм;
- г) несцільні плівки оксиду.

6. Здатність металів чинити опір корозійному впливу газів при високих температурах називається:

- а) жароміцністю;
- б) механічною міцністю;
- в) жаростійкістю;
- г) газостійкістю.

7. Який метал по відношенню до сталі є анодним покриттям?

- а) мідь (Cu);
- б) олово (Sn);
- в) цинк (Zn);
- г) нікель (Ni).

8. Яку систему називають фарбою?

- а) розчин органічної речовини в летучому розчиннику;
- б) розчин твердої речовини в рідкому розчиннику;

- в) суспензія пігменту в органічному сполучнику;
- г) розчин дрібноподрібненої речовини в летучому розчиннику.

9. За механізмом протікання розрізняють:

- а) корозію зовнішнім струмом і під напругою;
- б) хімічну і електрохімічну корозію;
- в) біокоррозія і корозійну ерозію;
- г) суцільну або загальну і місцеву корозію.

10. Який метал по відношенню до сталі є катодним покриттям?

- а) мідь (Cu);
- б) цинк (Zn);
- в) хром (Cr);
- г) титан (Ti).

11. Протекторний захист являє собою:

- а) хімічний процес;
- б) електрохімічний процес;
- в) біологічний процес.

12. Які основні методи застосовують для захисту металів від корозії?

- а) механічна обробка;
- б) захисні покриття, облік конструкції;
- в) підготовка поверхні металу.

13. Які захисні покриття відносяться до типу неорганічних покриттів:

- а) покриття смолами;
- б) покриття пластмасами;
- в) лако-барвисті покриття;

г) фосфатні і оксидні покриття.

14. Які речовини називають інгібіторами корозії?

- а) речовини прискорюють корозію;
- б) речовини, які зменшують швидкість корозії;
- в) речовини, що стабілізують корозійний процес.

15. Яке поєднання легуючих металів сильно уповільнює процес окислення сталі при високих температурах:

- а) Сг, Си, Со;
- б) А1, Мо, W;
- в) Си, Со, Мо;
- г) А1, Сг , Si.

Список джерел інформації

1. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / [П.І. Стоєв, С.В. Литовченко, І.О. Гірка, В.Т. Грицина]. – Х. : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2019. – 216 с.
2. 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.
3. Сахненко М.Д., Ведь М.В., Ярошок Т.П. Основи теорії корозії та захисту металів: Навч. посіб.– Харків : НТУ «ХП», 2015.– 240 с.
4. В.І. Алімов, З.А. Дурягіна. Корозія та захист металів від корозії. Донецьк-Львів: ТОВ «Східний видавничий дім».– 2014. – 328 с.
5. Бабушкін В.І. Захист будівельних конструкцій та споруд від агресивних дій з рішенням практичних задач. Навчальний посібник. / В.І. Бабушкін, А.А. Плугін, І.Е. Казімагомедов, О. О. Скорик. – Харків: УкрДАЗТ, 2016. – 214 с.
6. Talbot D. Corrosion science and technology; Second ed. / D. Talbot, J. Talbot. – Boca Raton : CRC Press, 2007. – 552 p.
7. Яцишин М.М., Герцик О.М. Корозія металів. Лабораторний практикум для студентів хімічного факультету // Львів. Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка. – 2006. – 134 с.
8. Решетняк О.В., Горбачевська Х.Р., Крупак І.М. Антикоровійний захист металевих виробів: Лабораторний практикум // Львів: ЛНУ ім. Івана Франка. – 1999. – 42 с.

Додаток А

Електродні реакції і потенціали

Електродна рівновага	E° , В	Електродна рівновага	E° , В
$\text{Li} + 1e^- = \text{Li}$	- 3,045	$\text{Tl}^+ + 1e^- = \text{Tl}$	- 0,336
$\text{K}^+ + 1e^- = \text{K}$	- 2,925	$\text{Co}^{2+} + 2e^- = \text{Co}$	- 0,277
$\text{Rb}^+ + 1e^- = \text{Rb}$	- 2,925	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	- 0,250
$\text{Cs}^+ + 1e^- = \text{Cs}$	- 2,923	$\text{Mo}^{3+} + 3e^- = \text{Mo}$	- 0,20
$\text{Ra}^{2+} + 2e^- = \text{Ra}$	- 2,916	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$	- 0,136
$\text{Ba}^{2+} + 2e^- = \text{Ba}$	- 2,906	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$	- 0,126
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- = \text{Ca}$	- 2,866	$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0,000
$\text{Na}^+ + e^- = \text{Ca}$	- 2,714	$\text{Ge}^{2+} + 2e^- = \text{Ge}$	0,001
$\text{La}^{3+} + 3e^- = \text{La}$	- 2,522	$\text{S} + 2e^- + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{S}$	0,14
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	- 2,363	$\text{Sn}^{4+} + 2e^- = \text{Sn}^{2+}$	0,15
$\text{H}_2 + 2e^- = 2\text{H}^-$	- 2,250	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0,172
$\text{Be}^{2+} + 2e^- = \text{Be}$	- 1,847	$\text{Bi}^{3+} + 3e^- = \text{Bi}$	0,215
$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	- 1,662	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$	0,337
$\text{Ti}^{2+} + 2e^- = \text{Ti}$	- 1,628	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$ (pH = 14)	0,401
$\text{Zr}^{4+} + 4e^- = \text{Zr}$	- 1,529	$\text{I}_2 + 2e^- = 2\text{I}^-$	0,535
$\text{V}^{2+} + 2e^- = \text{V}$	- 1,186	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^- = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,56
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- = \text{Mn}$	- 1,180	$\text{MnO}_4^- + 1e^- = \text{MnO}_4^{2-}$	0,564
$\text{Se}^{2+} + 2e^- = \text{Se}$	- 0,92	$\text{Fe}^{3+} + 1e^- = \text{Fe}^{2+}$	0,771
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (pH = 14)	- 0,828	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	0,788
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	- 0,763	$\text{Ag}^+ + 1e^- = \text{Ag}$	0,799
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	- 0,744	$\text{Hg}^{2+} + 2e^- = \text{Hg}$	0,854
$\text{S} + 2e^- = \text{S}^{2-}$	- 0,447	$2\text{Hg}_2^{2+} + 1e^- = \text{Hg}_2^{2+}$	0,92
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}$	- 0,440	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e^- = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,94
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (pH = 7)	- 0,414	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e^- = \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,96
$\text{Cr}^{3+} + 1e^- = \text{Cr}^{2+}$	- 0,408	$\text{Pd}^{2+} + 2e^- = \text{Pd}$	0,987
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	- 0,403	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + 1e^- = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	1,00
$\text{Ti}^{3+} + 1e^- = \text{Ti}^{2+}$	- 0,369	$\text{Br}_2 + 2e^- = 2\text{Br}^-$	1,065

Закінчення додат. А

Електродна рівновага	$E^0, \text{В}$	Електродна рівновага	$E^0, \text{В}$
$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1,189	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,52
$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,19	$2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- = \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,52
$\text{Pt}_2^{++} + 2\text{e}^- = \text{Pt}$	1,20	$2\text{HOBr} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,59
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ (pH = 0)	1,23	$\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,60
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,23	$\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- = \text{Ce}^{3+}$	1,61
$\text{Tl}^{3+} + 2\text{e}^- = \text{Tl}^+$	1,25	$2\text{HOCl} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,63
$\text{HOBr} + \text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,33	$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,682
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 2\text{Cr}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$	1,33	$\text{Au}^+ + \text{e}^- = \text{Au}$	1,691
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- = \text{Cl}^-$	1,359	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,695
$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- = \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1,39	$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\text{e}^- = \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,70
$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,44	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$	1,776
$2\text{HIO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,45	$\text{BrO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{BrO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1,88
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,45	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- = 2\text{SO}_4^{2-}$	2,05
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,455	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,07
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- = \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,47	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} - 2\text{H}^+ - 2\text{e}^- = 2\text{HSO}_4^-$	2,12
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Au}$	1,498	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{F}^-$	2,87

Навчальне видання

Методичні вказівки

до лабораторних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Антикорозійний захист обладнання» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» усіх форм навчання

Укладачі:

БАЙРАЧНИЙ Володимир Борисович
НЕЧИПОРЕНКО Дмитро Ігорович
НОВОЖИЛОВА Тетяна Борисівна
ТИХОМИРОВА Тетяна Сергіївна

Відповідальний за випуск доц. Шестопапов О.В.

Роботу до видання рекомендувала проф. Самойленко Н.М.

В авторській редакції

План 2024 р., поз. 1027

Підп. до друку

Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія