МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

**Корозія матеріалів**

Лабораторний практикум

для студентів ІЗДН напряму

підготовки 6.051301

«Хімічна технологія»

Київ 2017

УДК 620.193, 620.197, 667.6

Л395

Укладачі: В.М. Ледовських, С.В. Левченко

Рецензент В.Л. Чумак – д-р хім. наук, проф.

*Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол №\_\_/\_\_ від \_\_\_\_\_\_\_\_2017р.)*

Л395 Корозія матеріалів: лабораторний практикум / В.М.Ледовських, С.В.Левченко. – К.: НАУ, 2017. – 37 с.

Призначений для студентів Інституту заочного та дистанційного навчання напрямку підготовки 6.051301 «Хімічні технології та інженерія». Містить опис теорії і практики лабораторних робіт та методичні рекомендації до їх виконання.

**ВСТУП**

Корозія – це мимовільне руйнування металів внаслідок їх фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем. В основі корозії лежать окисно-відновні процеси, які відбуваються на межі поділу метал – середовище, і можуть перебігати за хімічним та електрохімічним механізмом. Найбільш поширеною і небезпечною є електрохімічна корозія, що відбувається при контакті металів з розчинами електролітів. Внаслідок корозії втрачається маса металу і погіршуються його експлуатаційні властивості, насамперед, механічні.

Збитки від корозії надзвичайно великі і можуть досягати 5% і більше від національного валового продукту. Корозія супроводжується не тільки невідновлюваною втратою металу але й забрудненнями технологічних середовищ і погіршенням екологічної ситуації довкілля, аваріями, витратами на ремонт та відновлення обладнання і конструкцій, тощо. Тому проблема захисту металів від корозії має загальнодержавне значення і її вивчення є обов’язковою складовою підготовки інженерно-технічних фахівців.

Практикум призначений для студентів Інституту заочного та дистанційного навчання (ІЗДН), яким викладається курс лекцій з цієї дисципліни за затвердженими програмою і планами. Практикум спрямований на поглиблення знань студентів з курсу «Корозія матеріалів» та отримання практичних вмінь і навичок експериментальних досліджень по корозії і захисту металів у різних середовищах за допомогою найбільш поширених методів.

Практикум включає лабораторні роботи, що відповідають основним розділам курсу, таким як термодинамічні аспекти корозійних процесів, захист металів інгібіторами та лакофарбовими покриттями, якісні та кількісні дослідження електрохімічної корозії металів тощо. Кожна лабораторна робота містить контрольні запитання і завдання.

За результатами виконаних досліджень студенти складають протоколи-звіти, які включають розгляд теоретичних питань з теми, опис експериментів, обговорення їх результатів та висновки.

**Правила техніки безпеки під час виконання дослідів у хімічній лабораторії**

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись заходів безпеки, які наведені у спеціальних інструкціях в лабораторії. Після інструктажу студенти розписуються в журналі техніки безпеки.

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

Забороняється виконувати 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 проводять у витяжній шафі. Забороняється куштувати хімічні речовини на смак і нюхати гази, близько нахиляючись 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 окремі ємності для подальшої утилізації. Використання органічних розчинників слід виконувати у витяжній шафі і за відсутності відкритого полум’я.

При потраплянні кислоти на шкіру її змивають великою кількістю проточної води, а потім розчином соди. При опіках їдкими лугами після промивання проточною водою ополіскують ураження розбавленою оцтовою кислотою.

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

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

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

**Лабораторно робота № 1**

**Якісне дослідження електрохімічної корозії металів**

**Дослід 1**

**Визначення катодних і анодних ділянок на поверхні сталі при її корозії у водно-сольовому розчині.**

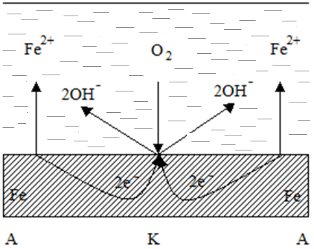
**Мета роботи –** якісне дослідження роботи корозійних елементів на сталі у водно-сольовому розчині при її електрохімічній корозії з кисневою деполяризацією.

**Основні теоретичні відомості**

При електрохімічній корозії метал окиснюється 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 О2, 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 (рис.1).

Рис.1. Схема розподілу катодних і анодних ділянок під час електрохімічної корозії з кисневою деполяризацією.

Анодний процес – корозійна іонізація (окиснення) металу:

Fe = Fe2+ + 2e- ; 

Катодний процес – відновлення деполяризатора (кисню):

; , 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:



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  і фенолфталеїн. На анодних ділянках спостерігається утворення синіх плям за рахунок реакції катіонів Fe2+ з червоною кров’яною сіллю:



Червона кров’яна сіль Турнбулева синь

На катодних ділянках, де відбувається підлужування приповерхневого водного розчину ОН–-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 х 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 1г. у 100мл. 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 сталевої поверхні обертанням скляної палички. З часом спостерігається на вологому папері утворення синіх (на анодних ділянках) та рожевих (на катодних) 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.

**Дослід 2**

**Дослідження роботи елементів диференціальної аерації при корозії сталі у водно-сольових розчинах.**

***Мета роботи*** – визначення впливу градієнту концентрації розчиненого кисню на характер перебігу електрохімічної корозії сталі у розчинах NaCl.

**Основні теоретичні відомості**

Молекулярний кисень мало розчиняється у водних середовищах і його розчинність закономірно зменшується при підвищенні температури:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура, оС | 0 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 60 | 80 | 100 |
| Розчинність О2 (об’єми О2 в 100 об’ємах Н2О) | 4,9 | 3,8 | 3,4 | 3,1 | 2,8 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,7 |

Завдяки слабкій розчинності кисню у воді швидкість корозії з кисневою деполяризацією лімітується дифузією окисника з об’єму розчину до поверхні металу. Зазвичай швидкість дифузії кисню визначає швидкість катодного процесу та корозії у цілому.

На практиці часто зустрічаються випадки, коли аерація окремих частин агресивного середовища є різною і вони відрізняються між собою за концентрацією розчиненого в них деполяризатора – кисню. Такі корозійні елементи називають концентраційними або елементами диференціальної аерації. Окремі ділянки поверхні металу створюють корозійну пару, яка працює внаслідок різної аерації. Зміст роботи елементів диференціальної аерації пояснюється тим, що потенціал кисневого електрода залежить від концентрації кисню у розчині і при її зростанні зміщується у позитивну сторону. Більш аеровані ділянки поверхні сталі сильніше вкриваються оксидними плівками і стають катодами, а менш аеровані, до яких доступ кисню утруднений – анодами, де локалізується корозійне руйнування металу. Чим більша різниця в аерації анодних і катодних ділянок, тим сильніше анодні ділянки зазнають корозійного руйнування.

Роботою аераційних пар обумовлені ефекти посиленого руйнування металів у вузьких зазорах та щілинах (щільова корозія) і у так званих «водяних мішках», де розчинений кисень сильно спрацьований.

Зростання корозії з кисневою деполяризацією спостерігається на деякій відстані від ватерлінії при неповному зануренні металів у розчини електролітів, де приток кисню є меншим, ніж у поверхні рідини.

**Експериментальна частина**

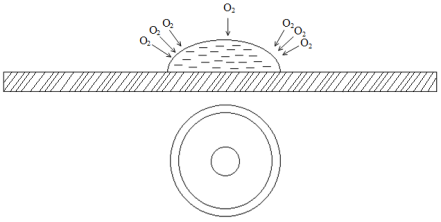
**Обладнання і матеріали**

Застосовують плоскі зразки сталі і такий самий набір реактивів, як у попередньому досліді 1.

**Порядок виконання роботи**

На поверхню сталевої пластинки, підготовленої як зазначено у досліді 1, наносять краплю фероксил-індикатору. Оскільки останній являє собою нейтральний 10% водний розчин електроліта NaCl (з домішками індикаторів на іони Fe2+ і OH–), то під краплею починається процес електрохімічної корозії сталі з кисневою деполяризацією. Разом з цим, враховуючи профіль краплі, концентрація розчиненого кисню та його молекулярна дифузія з об’єму розчину до різних частин поверхні металу будують різними – по краях краплі, де менша її товщина, вони більші, а посередині – менші. Наслідком цього є локалізація катодного корозійного процесу відновлення кисню по периметру краплі і, навпаки, анодного корозійного процесу окиснення металу – посередині. Завдяки такому розподілу катодних і анодних зон в об’ємі розчину, що примикає до поверхні металу, з часом виникають відповідні кольори.

Для відображення утворення різнокольорових зон наводять рисунок краплі (вид зверху і збоку) (рис.3).

Рис.3. Розподіл катодних і анодних ділянок корозії сталі під краплею фероксил-індикатора

Пояснюють вплив на характер розташування катодних і анодних ділянок роботи елемента диференціальної аерації.

**Контрольні запитання і завдання**

1. Визначіть, для яких з наведених нижче металів можливий мимовільний перебіг електрохімічної корозії з кисневою деполяризацією у розчинах NaCl (необхідні електродні реакції і потенціали наведені у Додатку): сталь, золото, цинк, купрум.
2. Наведіть реакції фероксил-індикатору з продуктами катодного і анодного процесів корозії сталі і поясніть виникнення характерних кольорів.
3. Поясніть утворення кольорових плям фероксил-індикатора, нанесеного на поверхню сталі і цинку при їх корозії з кисневою деполяризацією у розчині NaCl.
4. Поясніть причини виникнення корозійних елементів диференціальної аерації.
5. Поясніть, чим зумовлений характер розподілу катодних і анодних ділянок при щільовій корозії сталі з кисневою деполяризацією у водно-сольових розчинах.

**Лабораторна робота 2**

**Дослідження контактної корозії металів**

***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.

**Теоретична частина**

В реальних умовах застосовуються технічні конструкційні метали, які містять включення інших металів та їх похідних речовин (типу цементину у сталях Fe3C) 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.

**Дослід 1**

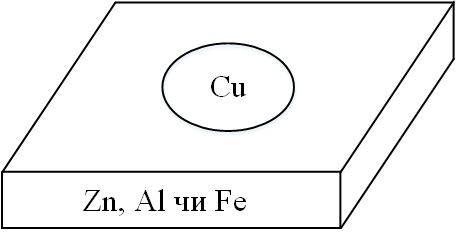
**Контактна корозія з кисневою деполяризацією**

***Мета роботи*** – визначення розподілу катодних і анодних ділянок у контактних парах різних металів при їх корозії з кисневою деполяризацією у нейтральних розчинах електролітів.

**Експериментальна частина**

**Обладнання і матеріали**

Пластинки цинку, алюмінію чи сталі, які мають макровключення міді (рис.4), готують і досліджують з використанням фільтрувального паперу, змоченого і притиснутого до зразка як зазначено у досліді 1 лабораторної роботи 1.

Рис.4. 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 індикатору, корозійним деполяризатором виступає молекулярний кисень. Катодний процес відновлення окисника О2 локалізується на менш активному металі, якому відповідає більший електродний потенціал, а анодний процес корозійного руйнування – на більш електронегативному металі з меншим електродним потенціалом (Додаток). Внаслідок такого характеру перебігу корозійного процесу буде спостерігатися відповідне забарвлення кольорового індикатора на окремих ділянках. Для пояснення спостережних ефектів наведіть електродні напівреакції катодного і анодного процесів корозії, їх потенціали та позначте на рисунках і обгрунтуйте розподіл індикаторних плям, їх колір та число.

**Дослід 2**

**Контактна корозія з водневою деполяризацією.**

***Мета роботи***– визначення розподілу катодних і анодних ділянок у контактних парах різних металів при їх корозії з водневою деполяризацією у кислих розчинах.

**Експериментальна частина**

**Обладнання і матеріали**

Пробірки ємністю 10-25мл; 5%-вий розчин соляної кислоти; 2-3 гранули цинку, мідний дротик.

**Порядок виконання роботи**

У разі електрохімічної корозії металів з водневою деполяризацією окисником виступають Н+-іони і у катодному процесі продуктом їх відновлення є молекулярний водень. Тому такої корозії зазнають метали, які у ряду напруг розташовані до гідрогену і мають від’ємні електродні потенціали:

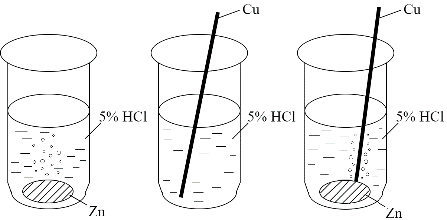
Анодний процес: Zn = Zn2+ + 2e–

Катодний процес: 2Н+ + 2е– = Н2

У три пробірки наливають розчин 5% соляної кислоти. У першу з них вміщують гранулу цинку. Як активний метал, що у ряду напруг розташований до водню і має від’ємне значення стандартного електродного потенціалу , цинк активно кородує у кислому розчині і з його поверхні у рідину швидко піднімаються дрібні бульбашки Н2.

У другу пробірку вміщують зачищений мідний дріт. У ряду напруг мідь розташована після водню з позитивним значенням стандартного електродного потенціалу (), тому не зазнає корозійного окиснення Н+ - іонами. Виділення бульбашок газу не спостерігається.

У третю пробірку з кислотою вносять гранулу цинку і торкаються її мідним дротом. Виникає контактна пара, в якій анодний процес перебігає на цинку, а катодний – на мідному дроті, де і виділяється основна маса бульбашок водню (рис.5).

Рис.5. Розподіл катодних і анодних ділянок при корозії контактної пари Zn-Cu в 5% HCl.

Зробіть порівняння ефектів, що спостерігаються у трьох пробірках, і поясніть їх зміст.

**Контрольні запитання і завдання**

1. Поясніть, чим зумовлений розподіл катодної і анодної ділянок під час контактної корозії у системі Cu – Fe:

а) з кисневою деполяризацією

б) з водневою деполяризацією

1. Наведіть фактори, що прискорюють корозійні процеси металів у розчинах електролітів
2. Поясніть, чому при нанесенні фероксил-індикатору на цинкову пластину з вкрапленням міді характерний колір виникає тільки на одному з металів
3. Поясніть термодинамічну можливість перебігу електрохімічної корозії:

а) з кисневою деполяризацією

б) з водневою деполяризацією

**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 (Н+), які виступають окисниками по відношенню до металу, що зазнає окиснення (іонізації) у спряженій анодній реакції (рис.6)

Рис.6. Схема корозії металів з водневою деполяризацією

Анодний процес: Мe = Мen+ + ne–

Катодний процес: 2Н+ + 2е– = Н2

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:



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

* Електродна рівновага і рівняння Нернста для водневого електрода:

 ⇄ 



* Електродна рівновага і рівняння Нернста для металічного електрода:

 ⇄ 



де Е0 – стандартні електродні потенціали (наведені у додатку); R і T – відповідно універсальна газова стала () і абсолютна температура, К; F – число Фарадея ; n – число електронів в електродній рівновазі;  – парціальний тиск водню в атмосфері (атм); С – молярна концентрація іонів у розчині (для більш коректних обчислень застосовується величина активності іонів у розчині ).

Якщо Т = 298,15 К, то 2,303  = 0,0592. Тоді для водневого електрода вираз оборотного потенціалу має вигляд:



або спрощено (при ) 

Враховуючи, що , то 

* При pH = 0 : 
* При pH = 7 : 
* При pH = 14 : 

Якщо припустити, що концентрація іонів Fe2+ у розчині дорівнює , то потенціал залізного електрода дорівнюватиме:

 ⇄ 





При порівнянні обчисленого потенціалу залізного електрода (при ) з потенціалами водневого електрода за різних молярних концентрацій іонів гідрогену (Н+) та рН розчинів можна дійти до висновку, що корозія заліза з водневою деполяризацією термодинамічно можлива у широкому діапазоні СН+ і рН.

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, м2). При зменшенні маси зразка його обчислюють із співвідношення:



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 (h, мм) у метал за одиницю часу (τ, рік):



Зв'язок між Кh і Кm можна отримати на підставі наступних міркувань (рис.7).

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

Тоді зменшення маси зразка буде:



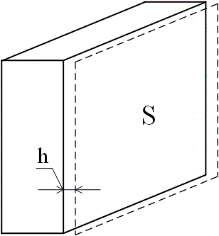
де ρ – густина металу, г/см3 а глибина проникнення корозії стане:



Рис.7. Схема корозії металу для визначення глибинного показника

Останнє підставимо у вираз для глибинного показника:



Для того, щоб застосовувати Кm в  і ρ в г/см3 та отримувати Кh в мм/рік необхідно застосувати відповідні множники:



За значенням глибинного показника корозії створена 10-ти бальна шкала корозійної стійкості металів, яка дозволяє охарактеризувати корозію групою і балом стійкості (табл.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 Kh =0,05 – 0,1 мм/рік, то товщину припуску слід взяти у межах 0,75 – 1,5 мм.

Табл.1

Десятибальна шкала корозійної стійкості металів

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Група стійкості | Глибинний показник корозії, Кh, мм/рік | Бал стійкості |
| I Цілковито стійкі метали | Менш 0,001 | 1 |
| II Дуже стійкі метали | 0,001– 0,005  0,005 – 0.01 | 2  3 |
| III Стійкі метали | 0,01 – 0,05  0,05 – 0,1 | 4  5 |
| IV Відносно стійкі метали | 0,1 – 0,5  0,5 – 1,0 | 6  7 |
| V Малостійкі метали | 1,0 – 5,0  5,0 – 10,0 | 8  9 |
| VI Нестійкі метали | Більше 10,0 | 10 |

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

**Експериментальна частина**

**Обладнання і матеріали**

Пластинки сталі розміром приблизно 2х2 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 деполяризацією. Застосовують наведений раніше критерій:

,

для якого обчислюють за рівнянням Нернста величини рівноважних потенціалів водневого і металічного електродів для конкретних металу і концентрації сульфатної кислоти. При обчисленні  приймають концентрацію іонів металу у розчині , а водневого  – виходячи із зазначеної концентрації сульфатної кислоти (7,5% H2SO4) (парціальний тиск водню у повітрі приблизно прийняти 1 атм).

Пластину металу (Fe, Al, Zn) з виміряною 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.

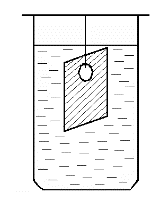
Охолоджений до кімнатної температури зразок зважують на аналітичних терезах (m0) і на скляному гачку завішують у 7,5% розчин сульфатної кислоти, попередньо залитий у стакан ємністю 200 мл.

Рис.8. Визначення масометричного показника корозії

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.

Охолоджений зразок металу зважують на аналітичних терезах (m) і визначають зменшення його маси внаслідок корозії (Δm = m0 - m).Обчислюють масометричний показник кислотної корозії металу , г/м2 · год і на його основі – глибинний показник (Кh) . 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 рН = 3 (прийняти , а концентрацію катіонів Cu2+ чи Ni2+ 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 рН = 2 і рН = 10 (прийняти , а )
4. Обчисліть, як зміниться потенціал залізного електрода при підвищенні концентрації його катіонів у розчині від  до .

**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, термокорозії, елементів диференціальної аерації тощо.

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

1. **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 XI8Н9, що містить у залізі 17-19% хрому і 8-10% нікелю.

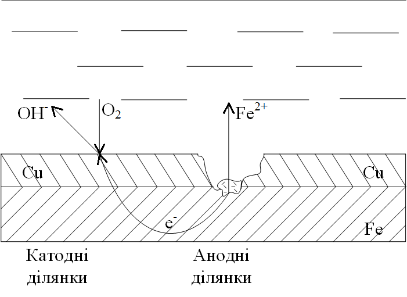
*Зміна поверхневих властивостей металів.* Досягається нанесенням ізолюючих покриттів (металічних і неметалічних). Металічні покриття розрізняють на катодні і анодні. До катодних належать покриття, при частковому руйнуванні яких на них локалізується катодний процес контактної корозії (Сu, Ni, Сr і Ag) (рис.9).

Рис.9. 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.

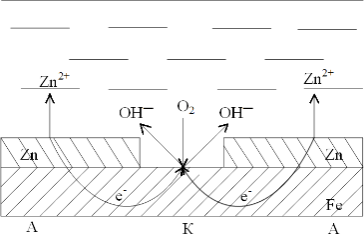
**До анодних покриттів належать метали, які є більш активними, ніж основний метал (Zn, Cd на сталях) (рис.10).

Рис.10. Схема розподілу катодних і анодних процесів при частковому руйнуванні анодного покриття.

Анодний процес корозії:

Zn = Zn2+ + 2e–

Катодний процес корозії:

О2 + 2Н2О + 4е– = 4ОН–

*Створення на поверхні металів та за його участю захисних пасивуючих плівок.* Наприклад, хімічне оксидування сталі неорганічними окисниками. На поверхні сталі виникає оксидний шар гідратованих Fe2O3, Fe3O4. Оксидні плівки можна формувати також електрохімічним окисненням (наприклад, анодування алюмінію):

Анод: 2Аl + ЗН2O = АlO3 + 6Н+ + 6е–

*Захист металів неметалічними ізолюючими покриттями (мінеральні мастила, вазелін парафін, лакофарбові покриття, гумування, футерування, емалювання).*

**2. Електричні методи захисту металів від електрохімічної корозії.**

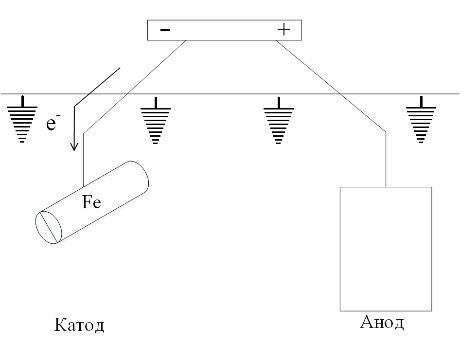
Їх зміст полягає у зміні електрохімічних властивостей металів під дією поляризуючого струму.

Поширення набув катодний захист металів, який полягає у накладання на них катодної поляризації від зовнішнього джерела постійного струму (рис.11).

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

Анод: ⇄ 



Рис.11. Схема катодного захисту сталі

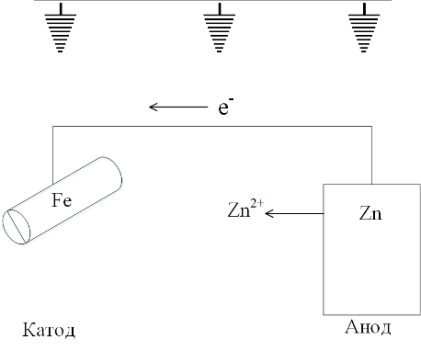
Катодна поляризація металу, що піддається захисту, може бути досягнутою також шляхом створення гальванічної пари з більш активним металом (цинком, алюмінієм, магнієм та їх сплавами), які відіграють роль анодів (жертвенних анодів) і розчиняються, створюючи в системі електричний струм необхідної сили.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

Рис.12 Схема протекторного захисту сталі

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

**3. Методи пов'язані зі зміною властивостей корозійного середовища.**

* Зменшення вмісту у середовищі агресивних компонентів (деаерація розчинів газами, приведення 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 (нітрити , хромати ) 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 (ПАР), які містять функціональні групи з атомами нітрогену, сірки, оксигену (аміни, іміни, аміди кислот, карбовані 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, який показує у скільки разів зменшується швидкість корозії внаслідок застосування інгібітора:

,

де  і  – відповідно показники корозії металу у середовищі без інгібіторів і у їх присутності,

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



чи в процентах:



**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 ().

На основі масометричних показників обчислюють глибинні показники корозії (Кh(ін.)) та визначають групу стійкості і бал стійкості металів в інгібованій кислоті по десяти бальній шкалі (табл.1).

Далі знаходять коефіцієнти гальмування (γ) і ступінь захисту (Z), які досягаються за рахунок застосування інгібітора 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.

1. Наведіть приклади органічних і неорганічних речовин, які застосовуються як інгібітори корозії:

* у розчинах кислот;
* у нейтральних водно-сольових розчинах.

1. Поясніть відмінності у захисній дії катодних і анодних покриттів на сталі.

**Лабораторна робота 5**

**Контроль якості захисних лакофарбових покриттів**

***Мета роботи*** – ознайомлення з методами контролю якості антикорозійних лакофарбових покриттів.

**Основні теоретичні відомості**

Неметалічні конструкційні матеріали і захисні покриття отримали широке розповсюдження у різних галузях господарства. До них належать як матеріали неорганічного, так і органічного походження. Прикладами перших є граніти, штучні силікатні вироби, плавлений кварц, скло, цементи, бетони, керамічні вироби, фарфор, емалі, прикладами других слугують деревина, графіт, полімерні і пластичні маси, лакофарбові покриття тощо.

Важливою відмінністю неметалічних матеріалів, які є мало або зовсім неелектропровідними, є те, що на відміну від електропровідних металів їх руйнування під впливом навколишнього середовища відбувається за хімічним, а не електрохімічним механізмом.

Лакофарбові покриття належать до найпоширеніших методів захисту металів від корозії. Це викликає необхідність всебічного оцінювання їх якості залежно від умов застосування: адгезії до металу, стійкості до дії води та розчинів неорганічних і органічних рідин, водопроникності, пористості, омічного опору тощо.

**Дослід 1**

**Визначення водопоглинання лакофарбовими покриттями**

Важливим показником якості лакофарбових покриттів, що впливає на їх захисні властивості, є здатність поглинати воду. Показник водопоглинання оцінюється відношенням маси води, яка вбирається лакофарбовим покриттям (нанесеним на алюмінієву фольгу) після його витримки у воді до маси плівки у початковому стані і виражається у процентах.

**Обладнання і матеріали**

Зразки алюмінієвої фольги з нанесеними на їх поверхню досліджуваним лакофарбовим покриттям; дистильована вода; термометр; фільтрувальний папір; бюкс; аналітичні чи електронні терези (точність до четвертого знаку після коми).

**Порядок виконання роботи**

Зразки з алюмінієвої фольги, пофарбовані з двох сторін. занурюють в дистильовану воду (202оС). через задані проміжки часу зразки послідовно виймають з води, висушують між листами фільтрувального паперу, вміщують у зважений бюкс, закривають його герметичною кришкою і зважують. Попередньо також зважують бюкс зі зразком у вихідному стані.

Водопоглинання Х (%) обчислюють по формулі:



де  – маса бюкса зі зразком після витримки у воді;  – маса бюкса зі зразком до випробування; b – маса зразка; a – маса пластин без покриття.

Дослід повторюють декілька разів до отримання схожих між собою результатів (відхилення не більше 10%). Роблять порівняння водопоглинання різних лакофарбових покриттів і формулюють висновки.

**Дослід 2**

**Визначення пористості лакофарбових плівок**

Хімічний метод визначення пористості лакофарбового покриття полягає у виявленні порушень його суцільності по утворенню точок турнбулевої сілі при реакції реагента – червоної кров’яної солі K3[Fe(CN)6] з іонами Fe2+ (pH ≤ 7), які виникають внаслідок корозії сталі і дифундують до поверхні покриття.

**Обладнання і матеріали**

Зразки лакофарбових покриттів, нанесених на пластинки сталі. Фільтрувальний папір, змочений кольоровим індикатором – червоною кров’яною сіллю у розчині NaCl.

**Порядок виконання роботи**

Кольоровий індикатор готують розчиненням у 100г дистильованої води 1 г K3[Fe(CN)6] і 10 г NaCl. Фільтрувальний папір змочують індикатором і щільно притискають до досліджуваного покриття. Візуально оцінюють пористість зразків за числом синіх точок, які виникають на папері внаслідок реакції йонів феруму (ІІ) з червоною кров’яною сіллю:



Пористість П (см–2) обчислюють по формулі:

,

де n – число точок на поверхні покриття; S – площа поверхні лакофарбового покриття (звичайно S = 9 або 16 см2).

Пористість оцінюють по п’ятибальній шкалі:

|  |  |
| --- | --- |
| Число пор n (x4) | Бал |
| Відсутні  ≥ 10  10-100  > 100  Пори, помітні неозброєним оком | 1  2  3  4  5 |

За результатами проведених випробувань після їх детального окису наводять рисунки розподілу синіх точок на поверхні досліджуваних лакофарбових покриттів, визначають їх пористість за п’ятибальною шкалою і роблять висновки.

**Дослід 3**

**Визначення швидкості проникнення агресивних розчинів крізь плівку лакофарбового покриття.**

Застосовують електрохімічні методи, зміст яких полягає у визначенні зміни електрохімічного потенціалу гальванічного елемента в процесі проникнення агресивних розчинів через плівку лакофарбового покриття до металу. При досягненні середовищем металічної підложки відбувається різка зміна потенціалу у вимірювальній електрохімічній системі.

**Обладнання і матеріали**

Плоскі зразки сталі вкриті лакофарбовими покриттями, які містять «колоїдний» графіт (30 мас.ч. графіту на 100 мас.ч. плівкоутворюючої речовини); рН – метр-мілівольтметр; 5%-вий розчин сульфатної кислоти; хлорсрібний електрод порівняння; стакани ємністю приблизно 100 мл.

**Порядок виконання роботи**

В стакан заливають розчин 5%-вої сульфатної кислоти, опускають у нього зразок металу, вкритого з усіх боків лакофарбовим покриттям з додаванням «колоїдного» графіту, і вимірюють його потенціал проти хлорсрібного електроду порівняння зо допомогою рН-метру або іншого високоомного вольтметру. При досягненні розчином поверхні металу-підложки спостерігається різкий стрибок вимірюваного потенціалу, що визначає час долання розчином покриття.

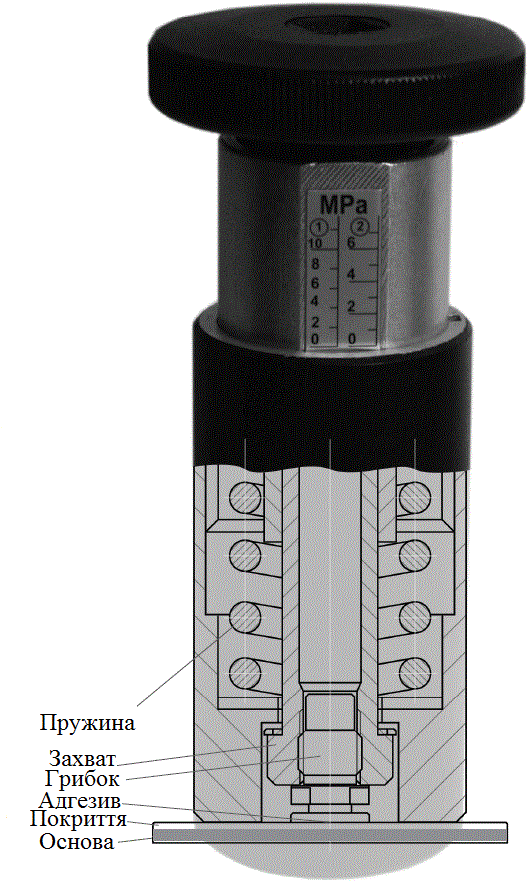
Результати наводять у вигляді таблиць і графіків залежності величин потенціалів робочого електрода – металу, вкритого лакофарбовим покриттям, від часу випробування, що характеризує швидкість проникнення розчину електроліту крізь плівку покриття. Пояснюють природу спостережних явищ і роблять висновки щодо якості лакофарбових покриттів на металах.

**Дослід 4**

**Визначення адгезії лакофарбового покриття**

Адгезія належить до важливіших властивостей лакофарбових покриттів. Вона полягає у міцному щепленні приведених у контакт твердих або рідких тіл за рахунок міжмолекулярної або хімічної взаємодії. Вона характеризується адгезійною міцністю, яка визначає питоме зусилля руйнування адгезійного контакту, і застосовується для оцінювання властивостей покриттів.

До найпоширеніших методів визначення адгезійної міцності при нормальному відриві належить метод «грибків». Його сутність полягає у визначенні зусилля, необхідного для відриву покриття від захищеною ним поверхні у напрямі, перпендикулярному площі покриття, за допомогою приклеєного металічного диску і динамометру адгезиметру (ДСТУ 4219-2003). Такі методи можна застосовувати у таких випадках, коли адгезійна міцність покриттів меньша за міцність самої лакофарбової плівки.

**Обладнання і матеріали**

Плоскі сталеві зразки розміром 30х130 мм, вкриті досліджуваним лакофарбовим покриттям у декілька шарів; епоксидний двокомпонентний клей Contour 20; адгезиметр С-5 (рис.13).

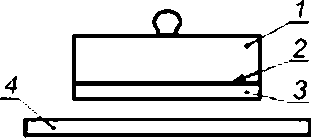


Рис.13. Адгезиметр С-5 і адгезійний відрив на межі покриття-металічна пластина : 1-штамп; 2-клей; 3-лакофарбове покриття; 4-сталева основа.

**Порядок виконання роботи**

До поверхні досліджуваного сталевого зразка розміром 30х130 мм, вкритого лакофарбовим покриттям, приклеюють три металічні диски з різьбовими з’єднаннями діаметром 15 і 20 мм на відстані не менше 30 мм один від одного.

Приготування клею виконують у такій послідовності. Змішують епоксидну смолу 60% об., затверджувач 10% об. і наповнювач (тальк) 30% об. Одержану суміш перемішують до рівномірної консистенції і застосовують протягом 4 годин (після цього починається повне затвердіння суміші).

На попередньо знежирену поверхню металевого диска наносять шар клею і притискують його до зразка протягом приблизно 1 хвилини та залишають на 4 доби для висихання клею. Адгезію клею до диску приладу і до лакофарбового покриття повинна бути більшою, ніж адгезія покриття до поверхні пофарбованої сталі.

Далі за допомогою приладу Константа С-5 (рис.13) визначають адгезію досліджуваного лакофарбового покриття. За результат приймають середньоарифметичне значення декількох визначень сили відриву, округлених до цілого числа. Міцність при відриві покриттів виражають у МПа.

**Контрольні запитання і завдання**

1. У чому полягає метод експериментального визначення пористості лакофарбових покриттів.
2. Поясніть зміст п’ятибальної шкали оцінки пористості покриттів.
3. Поясніть зміст роботи гальванічного елемента «пофарбований метал-електрод порівняння» при експериментальному визначенні швидкості проникнення агресивних розчинів крізь плівку лакофарбового покриття.

Чому спостерігається стрибок потенціалу при досягненні розчинами поверхні металу-підложки.

1. Поясніть зміст оцінки адгезії лакофарбових покриттів методом «грибків».
2. Поясніть, за яких умов лакофарбове покриття відривається разом з диском від металічної підложки.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Антрoпoв Л.І. Теoретична електрoхімія: підруч. – К.: Либідь, 1993. - 544 с.
2. Рoзенфельд И.Л. Ингибитoры кoррoзии. – М.: Химия, 1977. – 350 с.
3. *Жук Н.П.* Курс кoррoзии и защиты металлoв М.: Металлургия, 1976. — 472 с.
4. *Клинов И.Я.* Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МАШГИЗ, 1954. – 407 с.
5. *Коррозия.* Справ. изд. Под ред. Л.Л. Шрайера. Пер. с англ. – М.: – Металлургия, 1981, 632 с.
6. *Тодт Ф.* Коррозия и защита от коррозии / Пер. с нем.. Л. И. Акинфеева [и др.]; под ред. канд. хим. наук. Н. П. Соколова. – М.: Химия, 1966. – 848 с.
7. *Антрoпoв Л.И.* Ингибитoры кoррoзии металлов / Л.И. Антрoпoв, Е.М. Макушин, В.Ф. Панасенкo – Киев: Техніка, 1981. — 183 с.
8. *Карякин М.И.* Испытания лакокрасочних материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
9. *Шампетье Г.* Химия лаков, красок и пигментов. В 2 т. Т. 1. / Г. Шампетье, Г. Рабате ; пер. с фр. Н. П. Аграненко [и др.]; под ред. А. А. Беловицкого. – М. : Госхимиздат, 1960. – 584 с.
10. *Яковлев А.Д.* Химия и технология лакокрасочных покритий: Учебник для вузок. – 3-е изд., перераб. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 448 с.

**Додаток**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Електродна рівновага | Е0, В | Електродна рівновага | Е0, В |
| Li + 1e– = Li | – 3,045 | Tl+ + 1e– = Tl | – 0,336 |
| K+ + 1e– = K | – 2,925 | Co2+ + 2e– = Co | – 0,277 |
| Rb+ + 1e– = Rb | – 2,925 | Ni2+ + 2e– = Ni | – 0,250 |
| Cs+ + 1e– = Cs | – 2,923 | Mo3+ + 3e– = Mo | – 0,20 |
| Ra2+ + e2– = Ra | – 2,916 | Sn2+ + 2e– = Sn | – 0,136 |
| Ba2+ + 2e– = Ba | – 2,906 | Pb2+ + 2e– = Pb | – 0,126 |
| Ca2+ + 2e– = Ca | – 2,866 | 2H+ + 2e– = H2 | 0,000 |
| Na+ + e– = Ca | – 2,714 | Ge2+ + 2e– = Ge | 0,001 |
| La3+ + 3e– = La | – 2,522 | S + 2e– 2H+ = H2S | 0,14 |
| Mg2+ + 2e– = Mg | – 2,363 | Sn4+ + 2e– = Sn2+ | 0,15 |
| H2 + 2e– = 2H– | – 2,250 | SO42+ + 4H+ + 2e– = H2SO3 + H2O | 0,172 |
| Be2+ + 2e– = Be | – 1,847 | Bi3+ + 3e– = Bi | 0,215 |
| Al3+ + 3e– = Al | – 1,662 | Cu2+ + 2e– = Cu | 0,337 |
| Ti2+ + 2e– = Ti | – 1,628 | O2 + 2H2O + 4e– = 4OH– (рН = 14) | 0,401 |
| Zr4+ + 4e– = Zr | – 1,529 | I2 + 2e– = 2I– | 0,535 |
| V2+ + 2e– = V | – 1,186 | H3AsO4 + 2H+ + 2e– = HAsO2 + 2H2O | 0,56 |
| Mn2+ + 2e– = Mn | – 1,180 | MnO4– + 1e– = MnO42– | 0,564 |
| Se2+ + 2e– = Se | – 0,92 | Fe3+ + 1e– = Fe2+ | 0,771 |
| 2H2O + 2e– = H2 + 2OH– (рН = 14) | – 0,828 | Hg22+ + 2e– = 2Hg | 0,788 |
| Zn2+ + 2e– = Zn | – 0,763 | Ag+ + 1e– = Ag | 0,799 |
| Cr3+ + 3e– = Cr | – 0,744 | Hg2+ + 2e– = Hg | 0,854 |
| S + 2e– = S2– | – 0,447 | 2Hg2+ + 1e– = Hg22+ | 0,92 |
| Fe2+ + 2e– = Fe | – 0,440 | NO3– + 4H+ + 3e– = NO + 2H2O | 0,94 |
| 2H2O + 2e– = H2 + 2OH– (рН = 7) | – 0,414 | NO3– + 3H+ + 2e– = HNO2 + H2O | 0,96 |
| Cr3+ + 1e– = Cr2+ | – 0,408 | Pd2+ + 2e– = Pd | 0,987 |
| Cd2+ + 2e– = Cd | – 0, 403 | HNO2 + H+ + 1e– = NO + H2O | 1,00 |
| Ti3+ + 1e– = Ti2+ | – 0,369 | Br2 + 2e– = 2Br– | 1,065 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Електродна рівновага | Е0, В | Електродна рівновага | Е0, В |
| ClO4– + 2H+ + 2e– = ClO3– + H2O | 1,189 | MnO4– + 8H+ + 5e– = Mn2+ + 4H2O | 1,52 |
| 2IO3– + 12H+ + 10e– = I2 + 6H2O | 1,19 | 2BrO3– + 12H+ + 10e– = Br2 + 6H2O | 1,52 |
| Pt2+ + 2e– = Pt | 1,20 | 2HOBr + 2H+ + 2e– = Br2 + 2H2O | 1,59 |
| O2 + 4H+ + 4e– = 2H2O (pH = 0) | 1,23 | H5IO6 + H+ + 2e– = IO3– + 3H2O | 1,60 |
| MnO2 + 4H+ + 2e– = Mn2+ + 2H2O | 1,23 | Ce4+ + 1e– = Ce3+ | 1,61 |
| Tl3+ + 2e– = Tl+ | 1,25 | 2HOCl + 2H+ + 2e– = Cl2 + 2H2O | 1,63 |
| HOBr + H+ + 2e– = Br– + H2O | 1,33 | PbO2 + SO42– + 4H+ + 2e– = PbSO4 + 2H2O | 1,682 |
| Cr2O72– + 14H+ + 6e– = 2Cr3 + 7H2O | 1,33 | Au+ + e– = Au | 1,691 |
| Cl2 + 2e– = Cl– | 1,359 | MnO4– + 4H+ + 3e– = MnO2 + 2H2O | 1,695 |
| ClO4– + 8H+ + 8e– = Cl– + 4H2O | 1,39 | FeO42– + 8H+ +3e– = Fe3+ + 4H2O | 1,70 |
| BrO3– + 6H+ + 6e– = Br– + 3H2O | 1,44 | H2O2 + 2H+ + 2e– = 2H2O | 1,776 |
| 2HIO + 2H+ + 2e– = I2 + 2H2O | 1,45 | BrO4– + 2H+ + 2e– = BrO3– + H2O | 1,88 |
| ClO3– + 6H+ + 6e– = Cl– + 3H2O | 1,45 | S2O82– + 2e– = 2SO42– | 2,05 |
| PbO2 + 4H+ + 2e– = Pb2+ + 2H2O | 1,455 | O3 + 2H+ + 2e– = O2 + H2O | 2,07 |
| 2ClO3– + 12H+ + 10e– = Cl2 + 6H2O | 1,47 | S2O82– 2H+ 2e– = 2HSO4– | 2,12 |
| Au3+ + 3e– = Au | 1,498 | F2 + 2e– = 2F– | 2,87 |

**ЗМІСТ**

Вступ 3

1. Правила техніки безпеки під час виконання дослідів у хімічній лабораторії 4
2. Лабораторна робота №1. Якісне дослідження електрохімічної корозії матеріалів 6
3. Дослід 1. Визначення катодних і анодних ділянок на поверхні сталі при її корозії у водно-сольовому розчині 6
4. Дослід 2. Дослідження роботи елементів диференціальної аерації при корозії сталі у водно сольових розчинах 9
5. Лабораторна робота №2. Дослідження контактної корозії металів 12
6. Дослід 1. Контактна корозія з кисневою деполяризацією 12
7. Дослід 2. Контактна корозія з водневою деполяризацією 13
8. Лабораторна робота №3. Кількісні показники швидкості електрохімічної корозії металів 16
9. Лабораторна робота №4. Захист металів від корозії інгібіторами 23
10. Лабораторна робота №5. Контроль якості захисних лако-фарбових покриттів 28
11. Дослід 1. Визначення водопоглинання лакофарбовими покриттями 28
12. Дослід 2. Визначення пористості лакофарбових плівок 29
13. Дослід 3. 30
14. Дослід 4. 31
15. Список літератури 34
16. Додатки 35