

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 1
«Вивчення методики відновлення деталей методом
електролітичного нанесення заліза» з дисципліни «Технологічні
методи підвищення терміну роботи деталей машин» для студентів
спеціальності G9 Прикладна механіка всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 1
«Вивчення методики відновлення деталей методом електролітичного
нанесення заліза» з дисципліни «Технологічні методи підвищення
терміну роботи деталей машин» для студентів спеціальності
G9 Прикладна механіка всіх форм навчання / Укл.: Ю.М. Савонов,
О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 16с.

Укладачі: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент;

О.Є. Капустян, канд. техн. наук, доц.;

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ІТЗтаМК

Протокол № 08 від 26.11.2025

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 6 від 09.12.2025

ЗМІСТ

1 Мета роботи	4
2 Загальні відомості.....	5
3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи	11
4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання	12
5 Вказівки з техніки безпеки	13
6 Порядок проведення лабораторної роботи	14
7 Зміст звіту.....	15
Перелік джерел посилання	16

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити і засвоїти технологію, обладнання та розчини для відновлення деталей машин методом електролітичного нанесення заліза.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При залізненні, як і при інших електролітичних процесах, склад і властивості осажденного металу залежать від складу електроліту і режимів нарощування.

Електролітичне залізо, яке отримане з хлористих електролітів, має наступний хімічний склад, %: заліза до 99,99; вуглецю 0,0001; сірки 0,0001; фосфору до 0,0002. Додавання в хлористий електроліт гліцерину і цукру може підвищити вміст вуглецю і підвищити твердість осадків [1].

Процес покриття електролітичним залізом проводять з використанням розчинних (сталних) і нерозчинних (вугільних) електродів. При нарощуванні шару покриття за допомогою нерозчинних електродів необхідно систематично корегувати склад електроліту по мірі виснаження розчину.

Осадження електролітичного заліза у концентрованих хлористих ваннах при температурі, близькій до температури кипіння і високій щільності струму (10–12 А/дм²), характеризується пластичністю й дрібнозернистою структурою. При осажденні в сіркокислих розчинах при цих же режимах створюються більш крихкі і крупнокристалічні осади [2].

У сіркокислих ваннах отримують пластичні осади заліза при нормальній температурі й низьких щільностях струму (0,1–0,2 А/дм²). Крихкість електролітичного заліза пояснюється його здібністю поглинати водень. У електролітичному залізі, отриманому з хлористих електролітів при температурі 100 °С, міститься лише 0,002–0,003 % водню. Електролітичне залізо, що осажене з сіркокислих розчинів при 18 °С, містить 0,085 % водню.

Твердість електролітичного заліза залежить від складу електроліту і режиму електролізу. У випадку застосування хлористих електролітів осажденний метал має твердість 100–400 НВ, а при використанні сіркокислих електролітів – твердість 200–300 НВ. У хлористих електролітах твердість осаженного заліза зростає зі зменшенням концентрації хлористого заліза і соляної кислоти, а також при збільшенні катодної щільності струму і зниженні температури електроліту. Температура електроліту оказує найбільш суттєвий вплив на твердість осаженного покриття. Так, у хлористому електроліті

(400 г/л FeCl_2 , 10 г/л NaCl і 1 г/л HCl) при зниженні його температури усього на 10 °С твердість осаду підвищується на 40–60 одиниць. При подальшому зниженні температури до 75 °С твердість підвищується до 300 НВ. Однак, зниження температури розчину призводить, одночасно, до підвищення крихкості електролітичного заліза і більшому вмісту водню. Нагрів зменшує крихкість деталей і кількість водню, який міститься в шарі. Підвищення температури до 500–600 °С знижує твердість електролітичного осаду заліза на 40–45 % [3, 4].

Для катодного осаду електролітичного заліза характерні значні внутрішні напруження. При залізненні в хлористих електролітах при температурі 95 °С і щільності струму 5 А/дм² залишкові напруження в осадовому залізі складають приблизно 150 МПа. При збільшенні щільності струму до 20 А/дм² напруження зростають до 370 МПа. В осадах, що отримані з того ж електроліту, але при температурі 102 °С і щільності струму 10 А/дм² залишкові напруження дорівнюють 120 МПа. В цих же осадах, отриманих при температурі 75 °С, залишкові напруження складають 450 МПа. При подальшому зниженні температури залишкові напруження підвищуються настільки, що з'являється небезпека відшаровування покриття. Відпуск деталей, які покриті електролітичним залізом, при температурі 500–600 °С зменшує залишкові напруження на 15–20 %.

Межа міцності електролітичного заліза, осадовеного з хлористого електроліту, складає 350–450 МПа, а відносне видовження 5–10 %, т. ч. від умов електролізу залежить як міцність, так і відносне видовження осадовеного заліза [1, 2].

Типовий технологічний процес електролітичного залізнення наведено в табл. 2.1.

Тривалість (год) осадження електролітичного заліза:

$$t = \delta \cdot \rho / (C \cdot D_k \cdot \eta) \quad (1)$$

де δ – товщина шару заліза, що нарощується мм;

ρ – щільність заліза, г/см³;

C – електрохімічний еквівалент, г/(А·год);

D_k – щільність струму, А/дм²;

η – вихід по струму, %.

Таблиця 2.1 – Технологічний процес залізнєння [2]

Операція	Послідовність операцій у варіантах	
	першому	другому
Очищення деталі від бруду мастила	1	1
Механічна обробка	(2)	(2)
Промивання органічним розчинником	(3)	(3)'
Сушка	(4)	(4)
Зачистка поверхонь, які покриваються	(5)	(5)
Ізоляція поверхонь, які не підлягають покриттю та монтаж деталей у підвісні пристосування	6	6
Обезжирювання деталей	7	7
Промивання гарячою водою (70—80°C)	8	8
Промивання холодною водою	9	9
Анодне травлення в електроліті залізнєння		10
Промивання холодною водою	—	11
Анодна обробка в 30 % розчині сірчаної кислоти	10	12
Промивання холодною водою	11	13
Промивання теплою водою (50—60°C)	12	14
Залізнєння	13	15
Промивання гарячою водою (70—80 °C)	14	16
Нейтралізація	15	17
Промивання гарячою водою (70—80 °C)	16	18
Демонтаж деталей з підвісок і знімання ізоляції	17	19
Контроль якості покриття	18	20
Механічна обробка	19	21
Консервація деталей	(20)	(22)

Примітка. Цифри в дужках означають, що операції можуть не виконуватись при визначених конкретних умовах.

Електроліти для залізнєння по їх хімічному складу підрозділяють на сульфатні, хлористі, змішані та інші, по засобу застосування — на холодні та гарячі (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Склади електролітів і режими залізнення [2-4]

Компоненти електроліту	Вміст компонентів, г/л при режимах					
	1	2	3	4	5	6
Хлористе залізо	200-250	300-350	600-680	-	400-600	150-200
Сірководокисле залізо	-	-	-	300	-	200
Хлористий натрій	100	-	-	150	-	-
Аскорбінова кислота	-	-	-	-	0,5-2,0	-
Соляна кислота				0,4-0,7		
Кислотність, рН	0,8-1,2	0,8-1,2	0,8-1,5	-	0,5-1,3	0,6-1,1
Температура електроліту, °С	70-80	70-89	70-80	95-98	20-50	30-50
Щільність струму, А/дм ²	20-40	20-50	20-60	10-15	10-30	20-25
Вихід по струму, %	85-92	85-95	85-95	90	85-92	85-92

У холодних електролітах процес залізнення проводять при малій щільності струму. Швидкість осадження металу в цих електролітах не перевищує 100–130 мкм/г. У електролітах, нагрітих до 50–105° С, електроліз протікає при високих щільностях струму (10–20 А/дм²); швидкість відкладення металу значно підвищується.

Для отримання товстого шару осаду при відновленні розмірів деталі найбільш часто використовують хлористі електроліти, які мають склад, г/л: хлористого заліза 200–250, хлористого марганцю 50–70, соляної кислоти 0,8–1,0. Режим осадження: нагрів до 55–65° С, щільність струму 25–35 А/дм². Електроліт після кожного осадження необхідно фільтрувати [1-3].

Використовують електроліт і іншого складу, який містить, г/л: хлористого заліза 200, хлористого калія 270, мурав'їної кислоти 5– 20. Режим осадження: водневий показник електроліту рН 3,5, температура електроліту 55–60° С, щільність струму при відсутності перемішування і фільтрації 10 А/дм². У цьому електроліті отримують осадки твердістю до 800 НВ і надійним зв'язком з поверхнею деталі, що нарощується. Співвідношення анодних і катодних поверхонь 1:1.

При цьому обов'язково перенасичення електроліту хлористим калієм. У цьому ж електроліті при переміщенні катодних штанг і фільтрації електроліту щільність струму можна підвищити до 12–15 А/дм². Використовується також електроліт із складом, г/л: хлористого заліза 500–700, соляної кислоти 1–3. Режим осадження: температура електроліту 90 °С, щільність струму 10–20 А/дм², вихід по струму 95 % [1-4].

Знаходять використання електроліти, наведені нижче:

- 400 г/л хлористого заліза, 2 г/л соляної кислоти і 150 г/л хлористого натрію; режим осадження: нагрів до 90 °С; щільність струму 4–6 А/дм²; твердість отриманого покриття 650–700 НВ; перед залізненням протягом 5 хв проводять анодне травлення в суміші концентрованих ортофосфорної і сірчаної кислот, які взяті в співвідношенні 4 : 1 (об'ємні доли), при анодній щільності струму 10–25 А/дм²;

- 300 г/л борфтористоводневого заліза, 18 г/л борної кислоти і 1–2 г/л вільної борфтористоводневої кислоти. Режим осадження: нагрів до 20–60 °С; щільність струму 2–12 А/дм²; рН 3,5; електроліт стійкий проти окислення і характеризується доброю розсіювальною здібністю; при перемішуванні електроліта допускається підвищення щільності струма в 1,2– 1,5 рази;

- при відновленні зношених деталей залізненням інколи виникає необхідність зняття неповноцінного шару електролітичного заліза. Для цієї мети використовують розчин, який містить, %: хлористого заліза 3, соляної кислоти 3, води 94 (температура розчину 60–90 °С), або розчин, який містить, г/л: щавлевої кислоти 25, перекису водня 13, сірчаної кислоти 0,1 (щільність 1,84 г/см³), вода – решта (температура розчину 13–25 °С). Тоді деталь піддають анодній обробці в 30 % розчині сірчаної кислоти [1, 2, 3].

Електроліт для залізнення необхідно обирати з урахуванням можливості підбору відповідних матеріалів для виготовлення ванн. Сірководородні і хлористі електроліти при підвищеній температурі агресивні до металів. Процес нарощування елемента деталі залізом спрощується при використанні борфтористоводневих електролітів. Із сірководородних електролітів, що використовуються на практиці, найбільше розповсюдження отримали розчини, у яких процес проводиться без нагріву електроліту або при декілька підвищених

температурі.

Сірководокислий електроліт, залізнення в якому можна проводити без нагріву, складається, г/л: закисного сірководокислого заліза 180–200, сірководокислого магнію 40–50, двовуглецевого натрію 25–30. Режим осадження: температура розчину 18–20°C, щільність струму 0,1–0,15 А/дм² [1, 2].

Сірководокислий електроліт, що нагрівається має наступний склад, г/л: сірководокислого заліза 150, сірководокислого натрію 100, сірчаної кислоти 1. Режим осадження: температура розчину 60–70 °С, щільність струму 5–10 А/дм², кислотність розчину рН 2,4–2,5 [3, 4].

Різкі коливання температури при залізненні в гарячих електролітах можуть викликати коливання напруг по товщині шару осадів. Тому можливо розтріскування і відшаровування покриття. При нарощуванні деталей не можна допускати коливань температури більш $\pm 2^\circ\text{C}$. Коливання щільності струму в меншій мірі впливає на зміну властивостей покриття, ніж температура. Однак, бажано, щоб не було і значних коливань щільності струму [1–3].

При осадженні електролітичного заліза необхідно уникати відключення струму. При тривалій роботі з перервами струму слід перед кожним продовженням осадження проводити анодну обробку деталі в тому ж електроліті протягом 1–2 хв при щільності струму x_i 30–40 А/дм². Після анодного травлення змінюють полярність струму, продовжуючи осадження металу. Спочатку використовують осадження при щільності струму в 2 рази меншою, у порівнянні з заданою, а потім через 1–2 хв переходять до нормального режиму [4].

Перед поміщенням у ванну деталей, які підлягають залізненню в гарячих електролітах, необхідно проводити короткочасний їх прогрів (до температури електролізу) протягом 3–5 хв до включення струму.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Переваги та недоліки використання електролітичних покриттів.
2. Використання електролітичного залізнення.
3. Особливості технології електролітичного залізнення.
4. Електроліти для нанесення заліза.
5. Параметри режиму електролітичного залізнення.
6. Прогресивні методи електролітичного залізнення.
7. Процес електролітичного розчину та нанесення покриттів.
8. Розсіюча здатність електроліту.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Електроліт.
2. Деталь (за пропозицією викладача).
3. Лупа 4-6-ти кратна.
4. Твердомір.
5. Пристрій для електролітичного розчину та нанесення покриттів.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Сумлінно виконувати усі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Підготувати установку до роботи. Склад електроліту та параметри режиму роботи вибрати з табл. 2.2.
2. Налити електроліт у бювету.
3. Замірити діаметр або товщину деталі до нанесення покриття.
4. Підключити деталь до «-» розчинний електрод - до «+».
5. Включити електричний струм і виконати операції технологічного процесу нанесення електролітичного заліза (табл. 2.1).
6. Промити деталь.
7. Замірити діаметр або товщину деталі після нанесення покриття.
8. Розглянути деталь з покриттям у лупу.
9. Оцінити якість нанесеного покриття.
10. Зробити висновок.
11. Результати дослідів оформити у вигляді звіту

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Схема процесу електролітичного залізнення.
3. Технологічний процес електролітичного залізнення.
4. Висновки по виконаній роботі.

Перелік джерел посилання

1. Гасило Ю. А. Основи технології відновлення деталей : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Технологія та устаткування зварювання». Кам'янське : ДДТУ, 2017. 147 с.
2. Яворський В. Т., Кунтий О. І., Хома М. С. Електрохімічне нанесення металевих, конверсійних та композиційних покриттів : навчальний посібник. Львів : Державний університет «Львівська політехніка», 2000. 216 с.
3. Якименко Г. Я., Артеменко В. М. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХП», 2009. 148 с.
4. Лузан С. О. Технології зміцнення та відновлення деталей машин : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХП», 2025. 306 с.