

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання ім. Є.О. Патона**

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерне
моделювання в матеріалознавстві»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

**на тему: «Поверхнєве зміцнення сталі Ст3 в процесі пошарового
електроіскрового легування Co-, Nb-, C-, Cr-, W-, Al-анодами»**

Виконав:

здобувач IV курсу, групи ФМ-01

Гетманенко Олександр Русланович

Керівник:

доцент, к.т.н., Лобачова Галина Геннадіївна

Консультант з розділу охорони праці:

зав. каф., д.т.н., професор Левченко О. Г.

Консультант з економічно-організаційного розділу

доцент, к.е.н., доцент Нараєвський С. В.

Консультант з питань нормконтролю:

ст.викл. Шаповалова Н.А.

Рецензент:

зав. каф. ВТМ і ПМ, д.т.н., проф. Богомол Ю.І.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Здобувач _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання ім. Є.О. Патона**

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу ВО

Гетманенку Олександрю Руслановичу

1. Тема роботи «Поверхнєве зміцнення сталі Ст3 в процесі пошарового електроіскрового легування Со-, Nb-, С-, Cr-, W-, Al-анодами», керівник роботи доцент, к.т.н., Лобачова Галина Геннадіївна, затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. № 2210-с
2. Термін подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: літературні дані, результати переддипломної практики, результати особистих експериментів.
4. Зміст роботи: вступ; літературний огляд; матеріали та методика досліджень; експериментальна частина; економічна частина; охорона праці; висновки; список використаних джерел.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 1 презентація (12 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно економічна частина	Нараєвський С.В., доцент		
Охорона праці	Левченко О.Г., зав. каф., професор		
Нормоконтроль	Шаповалова Н.А., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Видача завдання	20.05.2024	
	Огляд літератури	09.05.2024	
	Освоєння методик дослідження	16.05.2024	
	Виконання експериментальних досліджень	23.05.2024	
	Отримання результатів, їх аналіз	30.05.2024	
	Оформлення дипломної роботи	06.06.2024	
	Попередній захист	07.06.2024	
	Захист на засідання ЕК	19.06.2024	

Студент

Олександр ГЕТМАНЕНКО

Керівник

Галина ЛОБАЧОВА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 68 сторінок, 9 таблиць, 21 рисунок, 53 літературні джерела

АЛЮМІНІЙ, ВОЛЬФРАМ, ВУГЛЕЦЬ, ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, ЗМІЦНЕННЯ, КОБАЛЬТ, ЛЕГОВАНІЙ ШАР, НІОБІЙ, СТАЛЬ 3, ХРОМ

Об'єкт дослідження: леговані шари на сталі Ст3 після пошарового електроіскрового легування Co-, Nb-, C-, Cr-, W- та Al-анодами.

Предмет дослідження: закономірності формування покриттів на сталі Ст3 в процесі ЕІЛ у послідовності Co-Nb-C-Cr-W-Al та Cr-Nb-C-Co-W-Al.

Мета роботи: вивчити кінетику формування, мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість після пошарового електроіскрового легування сталі Ст3 анодами Co, Nb, C, Cr, W, Al зі змінною послідовністю їх нанесення.

Методи дослідження: гравіметричний аналіз; мікроструктурний аналіз; рентгеноструктурний аналіз; мікродюрOMETричний аналіз.

Встановлено, що послідовним електроіскровим легуванням сталі Ст3 Co-, Nb-, C-, Cr-, W- та Al-анодами існує можливість отримати покриття товщиною 30 мкм з підвищеною до 8,7 - 10,5 ГПа мікротвердістю.

Практичне застосування: отримані результати та визначені характеристики модифікованого шару під час електроіскрового легування можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин, літаків та інших механізмів.

ABSTRACT

Thesis: 68 pages, 9 tables, 21 figures, 53 references

ALUMINUM, TUNGSTEN, CARBON, ELECTROSPARK ALLOYING, HARDENING, COBALT, ALLOYED LAYER, NIOBIUM, STEEL 3, CHROMIUM.

Research object: alloyed layers on St3 steel after layer-by-layer electrospark alloying by Co-, Nb-, C-, Cr-, W- and Al-anodes.

The subject of the study: patterns of coating formation on St3 steel in the ESA process in the sequence Co-Nb-C-Cr-W-Al and Cr-Nb-C-Co-W-Al.

The purpose of the work: to study the kinetics of formation, microstructure, phase composition and microhardness after layer-by-layer electrospark alloying of St3 steel by Co, Nb, C, Cr, W, Al anodes with a variable sequence of their application.

Research methods: gravimetric analysis; microstructural analysis; X-ray structural analysis; microdurometric analysis.

It was established that by successive electrospark alloying of St3 steel by Co-, Nb-, C-, Cr-, W- and Al-anodes, it is possible to obtain a coating with a thickness of 30 μm with increased microhardness to 8.7 - 10.5 GPa.

Practical application: the obtained results and determined characteristics of the modified layer during electrospark alloying can be used to extend the service life of parts of machines, airplanes and other mechanisms.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 Загальні відомості про електроіскрове легування	10
1.2 Створення покриттів на сталях пошаровим ЕІЛ.....	13
1.3 Створення багатокомпонентних сплавів на базі кобальту	16
Висновки до розділу 1	19
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Матеріали досліджень	20
2.2 Методика експерименту.....	21
2.3 Методика дослідження.....	23
2.3.1 Гравіметричний метод	23
2.3.2 МікродюрOMETричний аналіз	24
2.3.3 Мікроструктурний аналіз	27
2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз	28
Висновки до розділу 2	29
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	30
3.1 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі Ст3 при різних послідовностях нанесення Co, Nb, C, Cr, W, Al.....	30
Висновок до розділу 3	35
1.1.4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	37
4.1 Науково-технічна актуальність НДР	37
4.2 Мета і завдання НДР	38
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	39
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу	39
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	41
4.3.3 Визначення вартості матеріалів для виконання НДР	41

4.3.4 Інші прямі невраховані витрати	42
4.3.5 Розрахунок накладних витрат	42
4.3.6 Розробка планової калькуляції собівартості НДР	43
4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності	44
4.5 Висновки до розділу 4	47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	48
5.1 Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві	48
5.2 Аналіз параметрів приміщення	49
5.3 Аналіз освітленості приміщення	50
5.4 Аналіз мікроклімату приміщення	51
5.5 Аналіз наявності шуму в приміщенні	53
5.6 Виробниче випромінювання	53
5.7 Запиленість та загазованість	53
5.8 Електробезпека	55
5.9 Пожежна безпека	56
Висновки до розділу 5	58
ВИСНОВОК	61
CONCLUTIONS	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕІЛ – електроіскрове легування

ЛШ – легований шар

ОКР – область когерентного розсіювання

ВСТУП

З літератури відомо, що багатокомпонентні електроіскрові покриття на деталях мають комплекс підвищених фізико-механічних властивостей, у зв'язку з чим знаходять своє застосування у багатьох галузях, навіть за складних умов експлуатації.

Зміцнення лише робочої поверхні, а не всього виробу загалом, дозволяє суттєво скоротити витрати дорогих матеріалів на їх виготовлення. Отже, актуальним є створення функціональних покриттів на поверхні маловуглецевих сталей.

Одним з сучасних методів поверхневого зміцнення є електроіскрове легування (ЕІЛ). Переваги цього виду обробки полягають у локальному нанесенні будь-яких струмопровідних матеріалів на металеві поверхні, високій міцності зчеплення покриття з основою, простоті здійснення технологічних операцій, економічності та екологічності процесу обробки при використанні малогабаритного транспортабельного обладнання.

Як правило, обробка здійснюється твердосплавними компактованими електродами, основним недоліком яких є попередня розробка їх складу та висока стійкість під час проходження низьковольтних розрядів, що значною мірою скорочує масоперенесення легувального матеріалу на анод і, як наслідок, знижує ефективність формування покриття. В такому разі альтернативним заходом стає почергове нанесення чистих металів у різній комбінації.

В даній роботі зроблена спроба створити багатокомпонентне покриття на поверхні сталі Ст3 пошаровим нанесенням декількох металів (Co, Nb, Cr, W, Al) та вуглецю в процесі електроіскрового легування.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Основною перевагою поверхневої обробки деталей є поєднання високої твердості та міцності поверхневого шару з достатньою пластичністю основного матеріалу. Значне збільшення зносостійкості досягається завдяки підвищенню не лише твердості робочих поверхонь, але й їхньої корозійної та жаростійкості. Серед різноманітних сучасних методів обробки металевих поверхонь з використанням концентрованих потоків енергії достатньо перспективним є метод електроіскрового легування (ЕІЛ), який дозволяє покращити експлуатаційні характеристики деталей машин.

1.1 Ї Загальні відомості про електроіскрове легування

У середині минулого століття подружжя Лазаренків винайшли новий метод поверхневої обробки – електроіскрове легування (ЕІЛ) [1]. Цей процес передбачає передачу матеріалу на оброблювану поверхню за допомогою іскрового електричного розряду.

ЕІЛ має наступні характеристики:

- матеріал аноду (легувальний матеріал) може утворювати на поверхні катоду (виробу) міцно зчеплений з нею шар покриття; у такому випадку між основою та покриттям утворюється проміжний шар, де відбуваються процеси дифузії елементів катоду та аноду;
- процес легування може відбуватися таким чином, що матеріал аноду не утворює покриття на поверхні катоду, а дифузійно збагачує її своїми складовими елементами;
- легування можна проводити локально, лише в певних місцях, не захищаючи при цьому інші поверхні деталі;
- технологія обробки дуже проста, необхідне обладнання має малі габарити, його легко експлуатувати та транспортувати.

Фізична сутність процесу полягає в наступному [2]. Якщо в електричному колі проміжок між електродами буде пробитий, тобто

речовина, яка розділяє електроди, під дією електричного поля вже не буде діелектриком, між електродами виникне імпульсний електричний розряд. У результаті виникне електрична ерозія діючих електродів, тобто у місцях появи електричного розряду з поверхні буде викинута в навколишнє середовище відповідна порція матеріалу електрода. В залежності від параметрів електричного кола кількісне співвідношення маси металу, викинутого з анода та катода, може змінюватися.

Основною умовою успішного результату обробки методом ЕІЛ є правильний вибір аноду за його фізичними та хімічними властивостями, стійкістю до ерозії та параметрами обробки, що відповідають необхідним характеристикам поверхні. Досягнення позитивних результатів при ЕІЛ обробці залежить від ретельного вибору анода з урахуванням його хімічних і фізичних властивостей, корозійної стійкості та параметрів обробки, що впливають на кінцеві характеристики модифікованого шару [3].

Метод ЕІЛ дозволяє змінити певні властивості поверхні, зокрема підвищити її корозійну стійкість, зносостійкість, жаростійкість та твердість деталей машин, формуючи необхідні хімічні сполуки і шари з потрібною шорсткістю [4].

Основна мета електроіскрового легування полягає у вивченні впливу імпульсного електричного розряду на електропровідні матеріали аноду та катода. У процесі легування утворюється електричний розряд, який формує видозмінені шари біля поверхні катода. Ці шари з'являються під впливом імпульсів та теплових фізичних навантажень на область розряду. Під дією теплових навантажень на поверхні анода відбуваються некеровані процеси, такі як дифузні, термомеханічні, мікрометалургійні, що сприяють перемішуванню матеріалів катода та анода, забезпечуючи високу адгезію модифікованого шару. Формування поверхні після легування визначається складом, структурою, властивостями матеріалів анода та технічними характеристиками процесу електроіскрового легування [5].

Потік електронів, що потрапляє на поверхню аноду, виділяє значну кількість енергії, яка сприяє ерозії цього аноду [6]. Частинки матеріалу, що відриваються, осідають на розплавленій поверхні катоду і дифундують у глибину основного матеріалу, змінюючи приповерхневу зону катоду.

Таким чином, на оброблюваній деталі (катоді) формується модифікований шар з новою структурою та властивостями. Зважаючи на багатофакторність процесу формування, структуру одержаного легованого шару важко виявити. Найчастіше у літературних джерелах він має назву «білий шар» [7].

Під час формування шару контролюють перенесення матеріалу під дією іскрового розряду. Розрізняють основні види масоперенесення та взаємодії речовини електродів при ЕІЛ [8]:

- утворення покриттів на катоді із матеріалу аноду;
- утворення сплавів (сумішей, твердих розчинів, інтерметалідів) в поверхневому шарі катоду в результаті взаємної дифузії елементів катоду і аноду;
- перенесення речовини з катоду на анод з утворенням покриття.

Якість покриття залежить від характеру перенесення маси в процесі ЕІЛ, на що впливає взаємна розчинність матеріалів аноду і катоду. У разі утворення з залізом необмежених твердих розчинів (V, Cr, Co, Ni), прирости маси катоду і коефіцієнти масоперенесення найбільші, а сам ЛШ характеризується суцільністю і не містить пор. Для металів, які утворюють з залізом інтерметалічні сполуки (Ta, Nb) зазначені показники трохи нижчі. Якщо ж матеріали легувальних електродів утворюють обмежені тверді розчини (Ti, Zr, Mo, W), то коефіцієнт перенесення маси, суцільність ЛШ та його товщина – мінімальні; в таких покриттях присутні видимі дефекти. Таким чином, чим більша схильність матеріалу аноду до утворення твердих розчинів з матеріалом катоду, тим міцніший зв'язок з основою [8].

Масоперенесення впродовж ЕІЛ залежить й від часу обробки. Найбільше зростання маси можна зафіксувати у початковий момент легування. При цьому маса катоду зростає, а маса аноду зменшується [8]. Іноді спостерігається зростання маси аноду під час зменшення маси катоду – «зворотнє масоперенесення».

Слід зазначити, що зменшення маси аноду (ерозія аноду) ніколи не співпадає з приростом маси катоду. Пояснити такий факт можна тим, що частина речовини виділяється з поверхні обох електродів в навколишнє середовище у вигляді продуктів ерозії. Впродовж певного часу процес зростання маси катоду уповільнюється або ж фіксується його зменшення, на що впливає різницею співвідношення внеску таких процесів, як-то збільшення маси катоду через полярне перенесення матеріалу; руйнування покриття через накопичення в ньому дефектів, утворення крихких оксидів і нітридів (при ЕІЛ на повітрі) [8].

Загалом, питання зміни маси електродів залишається вивченим неповністю, а, отже, важливим є експериментальне встановлення кількісних характеристик перенесення маси для конкретного процесу обробки з урахуванням інших параметрів.

Використання різних анодів, залежно від їх властивостей і фазового стану компонентів ЕІЛ, а також температури, дозволяє керувати процесом легування шляхом налаштування технічних параметрів ЕІЛ (параметри імпульсних розрядів). Це, у свою чергу, дає можливість формувати поверхневі шари із заданими характеристиками [8].

1.2 Створення покриттів на сталях пошаровим ЕІЛ

Інформація щодо пошарового створення ЛШ в процесі ЕІЛ в літературних джерелах зустрічається нечасто. Мова йде про обробку декількома металами, інтерметалідами, металокерамічними або евтектичними композиціями [8-10].

Одержані у такий спосіб покриття є багатокомпонентними, подібними до твердосплавних композитів, завдяки чому здатні мати комплекс фізико-механічних властивостей. Проте, відомості про такі матеріали ґрунтуються на обмеженій кількості систем, та є несистематизованими.

В роботі [8] представлено дослідження структури, фазового складу, кінетики масоперенесення та властивостей багатокомпонентних покриттів, отриманих шляхом пошарового ЕІЛ Zr-, Ti-, Cr-, Fe- та С-анодами.

Дослідження кінетики перенесення матеріалу в процесі пошарового ЕІЛ заліза перехідними металами показало, що найбільший приріст маси катоду спостерігається для процесів з початковою стадією легування хромом, що пов'язано з утворенням твердого розчину з необмеженою розчинністю [8].

Також було виявлено, що після пошарового ЕІЛ Zr-, Ti- або Cr-анодом з проміжною стадією легування графітом за схемою Me–C–Me на поверхні заліза формуються покриття, збагачені карбідними фазами ZrC, TiC, Cr₇C₃, внаслідок чого мікротвердість зростає до 7 – 10 ГПа [8].

Багатокомпонентні покриття на залізі, одержані пошаровим нанесенням перехідних металів у послідовності: Zr–Ti–Zr–Ti; Ti–Cr–Ti–Cr; Cr–Zr–Cr–Zr; Cr–Ti–Zr, мають підвищену у 4,5 – 7,2 рази мікротвердість у порівнянні з необробленою поверхнею [8].

Зносостійкість багатокомпонентних покриттів у 4,21 – 14,75 разів перевищує значення для необробленої поверхні заліза. За збільшенням зносостійкості покриття можна розташувати у ряд: Zr–Ti–Zr–Ti → Ti–Fe–Ti → Cr–Ti–Zr → Zr–Fe–Zr → Ti–Cr–Ti–Cr → Ti–C–Ti → Zr–C–Zr → Cr–Fe–Cr → Cr–Zr–Cr–Zr → Cr–C–Cr [8].

В роботі [11] дослідники встановили, що ЕІЛ сталі Ст.3 Ni-, Cr-, Al-, та С-електродами приводить до формування в поверхневих шарах залишкових напружень розтягу, які зі зростанням товщини шару плавно спадають, переходячи у напруження стискання.

В роботі [12] розглядалося створення зміцнених покриттів на сталі Ст.3 методом електроіскрового легування Co, Nb, Ti.

Дослідження [13] показало вплив послідовності нанесення Cr, C, Al в процесі електроіскрового легування на структуру та властивості поверхневих шарів сталі ХВГ.

Автори роботи [14] дослідили формування покриттів на сталі Ст.3 електроіскровим легуванням титаном, алюмінієм та графітом

За допомогою дослідження [15] було розглянуто особливості формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі в процесі пошарового нанесення титану, алюмінію та заліза.

У роботі [16] був вивчений вплив послідовності нанесення титану та хрому в процесі електроіскрового легування на структуру та властивості приповерхневих шарів сталі Ст.3.

За допомогою роботи [17] було розглянуто створення функціональних покриттів на поверхні маловуглецевої сталі багатостадійним електроіскровим легуванням хромом та графітом у насичувальних середовищах.

Автори дослідження [18] вивчили створення функціонального покриття на залізі багаторазовим електроіскровим легуванням Al – C – Al.

У роботі [19] досліджувалося формування функціональних покриттів на сталі 45, одержаних пошаровим електроіскровим легуванням хромом, нікелем, алюмінієм та графітом.

Дослідження [20] показало процес поверхнєве зміцнення сталі Ст.3 шляхом створення багатокомпонентних електроіскрових покриттів з вольфраму, міді та графіту.

У роботі [21] досліджувалися функціональні характеристики поверхні сталі Ст.3 після послідовного багатостадійного електроіскрового легування хромом та нікелем.

Автори роботи [22] стверджують, що створення багатокомпонентних покриттів на сплавах заліза пошаровим електроіскровим легуванням перехідними металами може покращити фізичні властивості поверхні зразків.

У роботі [23] було вивчено формування покриттів на залізі багаторазовим електроіскровим легуванням алюмінієм та графітом.

У дослідженні [24] проводилося електроіскрове легування сталі Ст3 нікелем, вольфрамом та вуглецем.

Авторами роботи [25] встановлено, що після ЕІЛ сталі 45 Cu-, Ni-, Ti-, Ag-анодами з додатковою обробкою С-електродом відбувається зменшення шорсткості покриття. Найбільший вплив на це здійснює попереднє ЕІЛ металами, які не утворюють карбідів та інших розчинів з вуглецем. Така обробка створює рельєф поверхні з підвищеними трибологічними характеристиками.

В роботі [26] розглянуто процес ЕІЛ легування сталі 45 електродами на основі твердих сплавів WC + Co + (2...4%) Cr₃C₂, отриманих методом спікання. На межі «покриття – основа» виявлена перехідна зона, яка формується в результаті кавітаційного перемішування матеріалів електродів за рахунок іскрового розряду. Склад перехідної зони відповідає високолегованій швидкорізальній сталі і тим самим збільшує міцність зв'язку покриття з основою, товщину одержаного шару та його зносотривкість.

1.3 Створення багатокомпонентних сплавів на базі кобальту

Основним завданням електроіскрового легування є створення функціональних легованих шарів, у тому числі покриттів для роботи в умовах тертя за високих температур.

Актуальним напрямком є формування ливарних кобальт-карбідних сплавів, здатних захистити від зносу контактуючі поверхні газотурбінних двигунів, які працюють за температур до 1100 °С в агресивних умовах експлуатації [27]. Створенню та впровадженню в авіабудівництво таких сплавів передувало дослідження науковцями фазових рівноваг і побудова діаграм плавлення сплавів квазібінарних систем кобальту з карбідами тугоплавких металів [28-30].

Завдання авторів роботи [27] полягало в отриманні зносостійкого матеріалу для захисту торців бандажних полиць робочих лопаток турбіни

високого тиску від зносу при температурі, вищій за 900°C . Як основа для сплаву з необхідними властивостями обраний кобальт. Оскільки за комплексом фізико-механічних і службових характеристик, таких як високотемпературна міцність, опір високотемпературній корозії на повітрі, зварюваності й зносостійкості при підвищених температурах кобальтові сплави, як основа жароміцних матеріалів, є більш перспективними, ніж нікелеві [27].

Зносостійкість евтектичних кобальт-карбідних сплавів тим вища, чим більше об'ємна частка карбідної складової в евтектиці. Такі евтектичні сплави є природнім композитом, в якому дисперсні кристали карбіду утворюють міцний каркас, гальмуючи пересування дислокацій, і надаючи сплаву твердості, а дисперсні кристали металевого твердого розчину зберігають міцність та пластичність сплаву [27].

В роботі [31] встановлено, що сплави системи Co-NbC-TiC найбільш повно відповідають вимогам отримання на їх основі композиційного зносостійкого матеріалу. Такі сплави, складовими яких є твердий розчин на основі кобальту і карбіду (Nb,Ti)C, мають температуру $1390 - 1410^{\circ}\text{C}$, а вміст карбідної фази в евтектиці становить 10 – 11 мол. %, що дозволяє розробити сплави, здатні працювати за температур, вищих за 900°C [31].

Набір легуючих елементів для зміцнення кобальтової основи сплавів визначено експериментально в роботі [32] в межах (мас. %): 20 – 25 % Cr, 1 – 3 % Mo, 2 – 4 % W, 1 – 2 % Al. Хром стабілізує стан поверхні і бере участь у карбідоутворенні; вольфрам – суттєво зміцнює твердий розчин; алюміній – підсилює поверхневий опір окисненню і гарячій корозії (до 700°C). Вміст вуглецю у сплавах необхідний для утворення потрібної кількості карбідної фази перевищує 2 %. З таким складом був розроблений сплав ХТН-37, захищений патентом [33], який виявився набагато кращим за існуючий сплав ВЖЛ-2. Зокрема, зносостійкість сплаву марки ХТН-37 у 4 – 15 разів вище за ВЖЛ-2.

Сплав ХТН-37 розробки ІМФ НАН України збільшив ресурс роботи авіаційного двигуна з 2000 до 4000 годин польотного часу при робочих температурах до 1000°C , а сплав ХТН-61 – до 9000 годин при температурі 1100°C [27].

При розробці ливарного зносостійкого кобальтового сплаву ХТН-62 ставилося завданням підвищення жаростійкості зі збереженням інших властивостей раніше розробленого сплаву ХТН-61. При вивченні фазових рівноваг та побудові діаграм стану в системах Co-NbC, Co-Al-W, Co-Nb-C [34 - 36] визначена область вмісту елементів у сплавах, які мають зносостійкість на рівні сплаву ХТН-61, але більш високу жаростійкість (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Базові межі вмісту елементів [27]

Nb	C	Cr	Al	W	Fe	Co
13,5 - 17	1,6 – 1,9	5 - 25	2 – 3,5	6 - 12	2 - 5	решта

Після проведення серії експериментів, встановлено вплив легування на температуру плавлення, термо-, жаро- та зносостійкість сплавів на базі кобальту з карбідом ніобію та визначено оптимальний склад сплаву ХТН-62, який має переваги над існуючими сплавами ВЖЛ-2 та ХТН-61 (табл. 3.2) [27].

Таблиця 3.2 – Оптимальний склад сплаву ХТН-62 [27]

Вміст компонентів, мас. %						
Nb	C	Cr	Al	W	Fe	Co
15,5	1,8	20	2	9,5	3	48,2

Зважаючи на вищезазначені наукові розробки, ідеєю даної роботи є створення жаростійкого та зносостійкого покриття на поверхні сталі Ст3, яке б стало аналогією жаростійкому сплаву ХТН-62, розробленому авторами [27] для захисту лопаток турбін авіаційних двигунів, що використовуються при

роботі за високих температур. Планується створення покриття методом електроіскрового легування анодами з металів, що входять до складу жароміцного сплаву, в пропорції, яка відповідає кількісному їх вмісту в сплаві. Відсотковий вміст кожного елементу у покритті планувалося корегувати тривалістю обробки відповідним анодом.

Висновки до розділу 1

Огляд літературних джерел свідчить про актуальність та перспективність застосування методу електроіскрового легування для створення зміцнених зносостійких, жароміцних, корозійностійких покриттів, переважна більшість з яких є багатокомпонентними.

Для істотного скорочення витрат високовартісних матеріалів (різноманітних сплавів, легованих сталей та ін.) достатньо зміцнювати лише робочу поверхню деталей, виготовлених з низьковуглецевих сталей (сталі Ст3).

Спираючись на експериментальні результати досліджень, знайдених у літературних джерелах, сформульована основна ідея бакалаврської роботи, яка полягає у створенні багатокомпонентного зміцненого покриття на поверхні маловуглецевої сталі Ст3 шляхом електроіскрового легування Co-, Nb-, Cr-, C-, W-, Al-анодами при послідовному їх нанесенні.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали досліджень

Матеріалом дослідження в роботі обрана низьковуглецева сталь [37] звичайної якості – сталь Ст3, склад якої: залізо 97 мас. %, вуглець (0,14 – 0,22) мас. %, кремній (0,05 – 0,17) мас. %, марганець (0,4 – 0,65) мас. %, нікель до 0,008 мас. %, мідь до 0,3 мас. %, хром до 0,3 мас. %, миш'як до 0,08 мас. %, сірка до 0,05 мас. % і фосфор до 0,04 мас. %.

Сталь Ст3 – це конструкційна вуглецева сталь звичайної якості, широко розповсюджена в усіх сферах промислового виробництва. Невелика кількість легуючих елементів та висока пластичність сталі Ст3 робить її розповсюдженим сплавом для несучих будівельних конструкцій; з неї виготовляють листи, профілі, труби, двутаври та інший металопродукт.

Ідея даної роботи полягає у створенні методом ЕІЛ багатокомпонентного покриття, яке б мало більш високу твердість, у порівнянні зі сталлю Ст3.

Для виконання поставлених задач виготовлено зразки сталі Ст3 циліндричної форми діаметром 10 мм і висотою 7 мм (рис. 2.1), які піддавалися ЕІЛ з пошаровим нанесенням декількох матеріалів.



а)



б)

а) – необроблений зразок; б) – зразок після ЕІЛ

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд поверхні сталі Ст3

В якості легуючих анодів обрано перехідні метали: Со (до 99,9 мас.%), Nb (до 99,9 мас.%), Cr (до 99,9 мас.%), W (до 99,9 мас.%), Al (до 99,9 мас.%) та вуглець (до 99,9 мас.% С); їх температура плавлення становить: Со – 1495°C, Nb – 2477°C, Cr – 1907°C, С – 3845-3890°C, W – 3420°C, Al – 660°C. Матеріали анодів обрано з урахуванням їх взаємної розчинності та карбідоутворюючої здатності.

Перед початком проведення ЕІЛ всі поверхні зразків та анодів попередньо оброблялися на шліфувальному папері з зерном Р600.

2.2 Методика експерименту

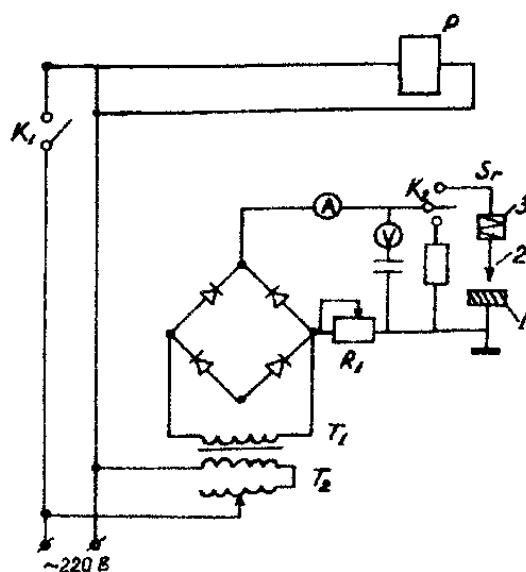
Для здійснення процесу ЕІЛ використовувалась установка «ЭЛИТРОН – 26А» (рис. 2.2), яка складається з корпусу та вібраційної ручки, в якій закріплюється матеріал аноду.



Рисунок 2.2 – Фотографія приладу «ЭЛИТРОН – 26А»

Робота установки для ЕІЛ базується на тому, що на обкладинках конденсатору спочатку накопичується електрична енергія, яка потім миттєво звільняється між електродами. Комутація ланцюгу розрядного контуру здійснюється за допомогою вібраційного пристрою [38]. Установка «ЭЛИТРОН – 26А» містить генератор імпульсів, контакти з якого підключені до оброблюваної деталі (катода) та електрода, встановленого в

електродотримачі електромагнітного вібратора (аноду). Установки для ЕІЛ складаються в основному з трьох вузлів: понижуючого трансформатору, випрямлячів, конденсаторів, а також вібратору. Більшість установок працює на випрямленому пульсуючому струмі із живленням від промислової мережі змінного струму напругою 220 В [39]. Для нанесення покриттів була використана стандартна лабораторна установка для електроіскрового легування «ЭЛИТРОН – 26А» [40,41], схема якої наведена на рис. 2.3.



1 – зразок (катод); 2 – допоміжний електрод (анод); 3 – вібратор

Рисунок 2.3 – Схема установки «ЭЛИТРОН – 26А» [41]

Електричні параметри ЕІЛ є наступними: струм розряду $I = 1,5$ А; робоча напруга $U = 60 - 70$ В; частота імпульсів $\nu = 50$ Гц.

Процеси ЕІЛ проводилися послідовним нанесенням легуючих елементів за схемами: Co - Nb - C - Cr - W - Al; Cr - Nb - C - Co - W - Al.

Загальний час обробки кожного зразка складав 7 хв. (420 с), а саме: для Co-аноду – 3 хв, для Nb-аноду – 1,5 хв, для C-аноду – 0,5 хв, для Cr-аноду – 0,5 хв, для W-аноду – 1 хв, для Al-аноду – 0,5 хв. Різна тривалість обробки кожним з анодів обрана з прогнозуванням співвідношення вмісту елементів у покритті, що формується.

2.3 Методика дослідження

2.3.1 Гравіметричний метод

Під час проведення ЕІЛ застосовувався гравіметричний аналіз [42]. Цей метод передбачає вимірювання маси електродів до початку електроіскрової обробки та під час неї, на кожному етапі процесу з визначеним інтервалом. У даному дослідженні зважування виконувалось кожні 30 с на електронних лабораторних вагах «AXISAD50» (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд електронних лабораторних вагів «AXISAD50»

Для побудови кінетичних графіків проводили розрахунки приросту маси катоду (Δm_k) та ерозії аноду (Δm_a) за формулами [42]:

$$\Delta m_k = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.1)$$

$$\Delta m_a = m_a(t_n) - m_a(t_{n-1}), \quad (2.2)$$

де t_n – час n-го вимірювання маси;

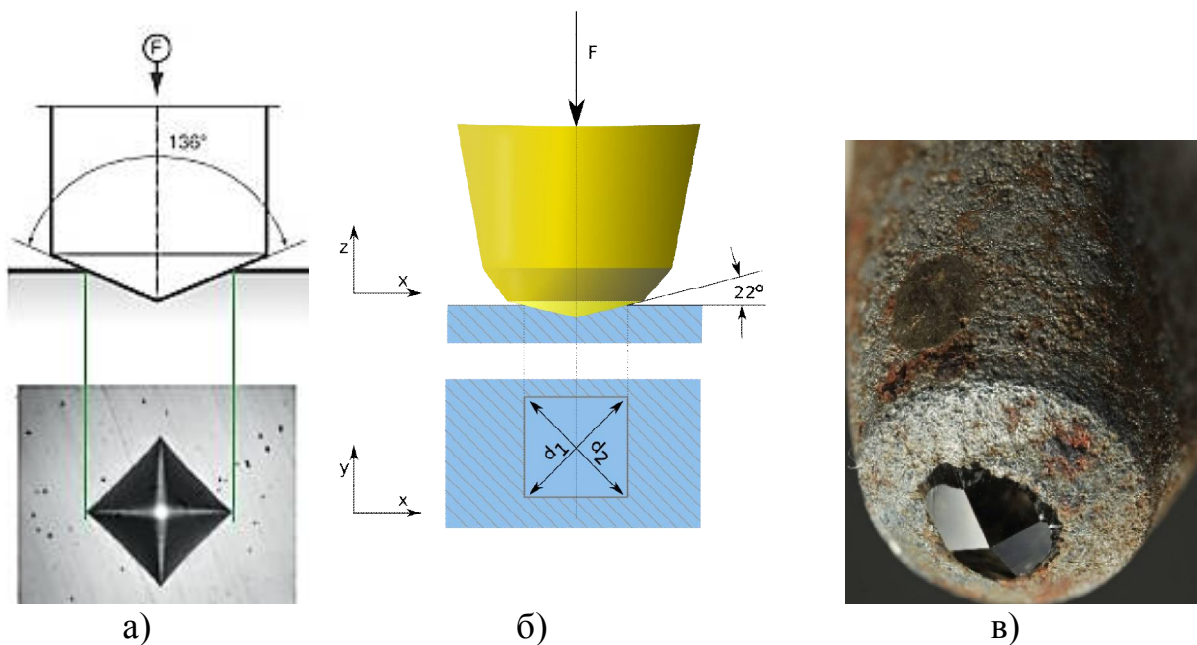
t_{n-1} – час попереднього вимірювання маси.

2.3.2 МікродюрOMETричний аналіз

Для вимірювання мікротвердості покриття, яке було отримано в процесі ЕПЛ, використовувався мікродюрOMETричний аналіз [43, 44]. Твердість за методом Віккерса визначається за розміром відбитка, як показано на рис. 2.5 а, з вимірюванням діагоналей відбитка d_1 та d_2 , як на рис. 2.5 б. Для цього використовують алмазну чотиригранну піраміду з кутом при вершині 136° , як на рис. 2.5 в.

Діагональ відбитка d вимірюють за допомогою мікроскопа, який встановлено на мікротвердомірі. Мікротвердість шліфів вимірювали за допомогою приладу ПМТ-3 (рис. 2.6).

Вимірювання мікротвердості здійснювалось шляхом вдавнення стандартної алмазної піраміди з квадратною основою та двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 50 г протягом (8–10) секунд [45, 46].



а) – схема занурення індентора з кутом при вершині в 136° та ідеальний відбиток індентора на поверхні сплаву з рівними діагоналями;

б) – схема занурення індентора та вимірювання діагоналей відбитку;

в) – вигляд індентора з алмазною пірамідкою

Рисунок 2.5 – Схема визначення твердості за Віккерсом [46]



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд приладу ПМТ–3

Мікротвердість у ГПа визначали за величиною діагоналі, використовуючи табличні дані приладу. Протяжність легованого шару та зони термічного впливу оцінювали за кривими розподілу мікротвердості. Для розрахунку значення мікротвердості застосовували формулу [45]:

$$H_{\mu} = 1854 \times P \div (d_{\text{сер}} \times 0,3), \quad (2.3)$$

де H_{μ} – значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою 20 г складає $\pm 0,1$ мг);

$d_{\text{сер}}$ – середнє значення довжини діагоналі, яке розраховується за формулою:

$$d_{\text{сер}} = (d_{i1} + d_{i2}) \div 2, \quad (2.4)$$

де d_{i1} , d_{i2} – відповідно довжини діагоналей чотирьохкутного відбитка, мкм.

Найбільша основна похибка окуляр–мікрометра на всьому діапазоні вимірювань складає ± 2 мкм у відповідності з паспортом. Похибка

вимірювання середнього значення довжини діагоналей відбитка визначається за формулами :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{\text{сеп}} - (d_{i1} + d_{i2})/2)}{n-1}}, \quad (2.5)$$

де n – кількість вимірювань, таким чином значення мікротвердості визначається за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.6)$$

$$H_{\mu} = \frac{1,854 \cdot P}{(d_{cp} \pm \sigma_0)^2}, \quad (2.7)$$

де σ_0 – довірчий інтервал.

Відносна похибка вимірювання δH_{μ} визначається :

$$\delta H_{\mu} = \left| \frac{H_{\mu}(d_{cp}) - H_{\mu}(d_{cp} \pm \sigma_0)}{H_{\mu}(d_{cp})} \right| \times 100\%, \quad (2.8)$$

Абсолютна похибка :

$$\Delta H_{\mu} = H_{\mu}(d_{cp}) - H_{\mu}(d_{cp} \pm \sigma_0), \quad (2.9)$$

Коефіцієнт зміцнення ($K_{\text{зм.}}$) був розрахований як співвідношення найбільшого значення мікротвердості легованого шару ($H_{\text{лш}}$) до мікротвердості основи ($H_{\text{осн}}$).

$$K_{\text{зм}} = \frac{H_{\text{лш}}}{H_{\text{осн}}}. \quad (2.10)$$

2.3.3 Мікроструктурний аналіз

Підготовка поперечних шліфів вимагала фіксації обробленого зразка, для чого використовувалась струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до створеного шару, а також бакелітова запресовка. Шліфування здійснювалось із застосуванням абразивного паперу різної шорсткості з поступовим зменшенням розміру абразивних часток до 2500.

Досягнення дзеркальної поверхні забезпечувалось використанням полірувальної пасти (оксид хрому III), після чого проводилось полірування на воді. Отриману поверхню шліфу протравлювали 3 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Фотографування шліфів виконувалось на металографічному тринокулярному мікроскопі iScore IS.1053-PLMi, зображеному на рис. 2.7, при збільшенні від 100 до 400 разів.

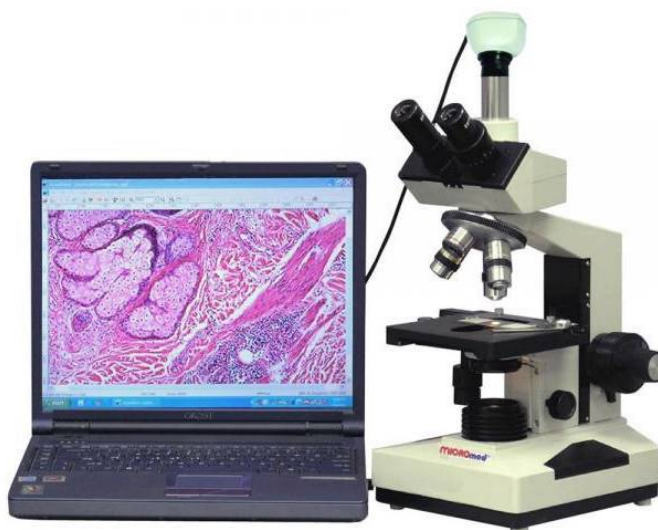
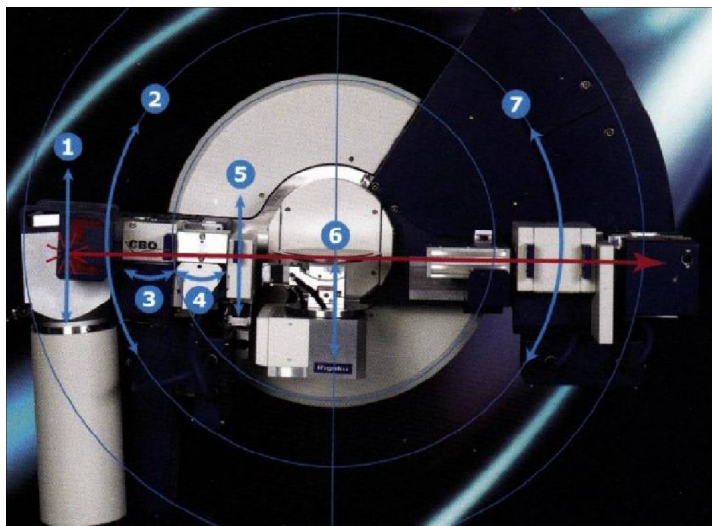


Рисунок 2.7 – Металографічний тринокулярний мікроскоп iScore IS.1053-PLMi [47]

Знімки мікроструктури поверхневих ділянок зразків робились за допомогою цифрової камери з відповідним програмним забезпеченням, яке передавало зображення на комп'ютер.

2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз проведено на рентгенівському дифрактометрі багатопільового призначення «Rigaku Ultima IV», схема камери якого зображена на рисунку 2.8.



- 1 – висота джерела; 2 – кут джерела; 3 – поперечна оптична балка;
 4 – кристалооптика; 5 – висота прорізу; 6 – поверхня зразка;
 7 – кут ходу детектора

Рисунок 2.8 – Схема гоніометру рентгенівського дифрактометру
 «Rigaku Ultima IV» [48]

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення визначено якісний та кількісний фазовий склад поверхневого шару зразків з покриттям, період ґратки кожної з фаз, розмір областей когерентного розсіювання та величину мікровикривлень кристалічної ґратки.

Зйомка проводилась у мідному монохроматизованому випромінюванні (інтервал кутів 2θ - від 10° до 100° , крок – $0,04^\circ$) за напруги 30 кВ та струму 20 мА.

Висновки до розділу 2

Обґрунтовано вибір матеріалів дослідження (сталь Ст3) та матеріалів анодів (Cr, Nb, C, Co, W, Al).

Проведено процеси електроіскрового легування сталі Ст3 послідовним нанесенням за схемами Co-Nb-C-Cr-W-Al та Cr-Nb-C-Co-W-Al.

Застосована комплексна методика для дослідження поверхні сталі після ЕІЛ, а саме:

- гравіметричний аналіз;
- мікроструктурний аналіз;
- мікродюрOMETричний аналіз;
- рентгеноструктурний аналіз.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі Ст3 при різних послідовностях нанесення Co, Nb, C, Cr, W, Al

За допомогою гравіметричного аналізу вивчалася кінетика формування покриттів в процесі послідовного нанесення Co, Nb, C, Cr, W та Al на поверхню сталі Ст3 під час ЕІЛ.

Графіки приросту маси катоду для обох процесів ЕІЛ мають певну несистематичність (рис. 3.1, 3.2).

При проведенні ЕІЛ у послідовності Co-Nb-C-Cr-W-Al інтенсивне нарощування легованого шару відбувається від початку до 180 с обробки кобальтовим анодом, наприкінці нанесення ніобію та на стадії нанесення алюмінію (рис. 3.1).

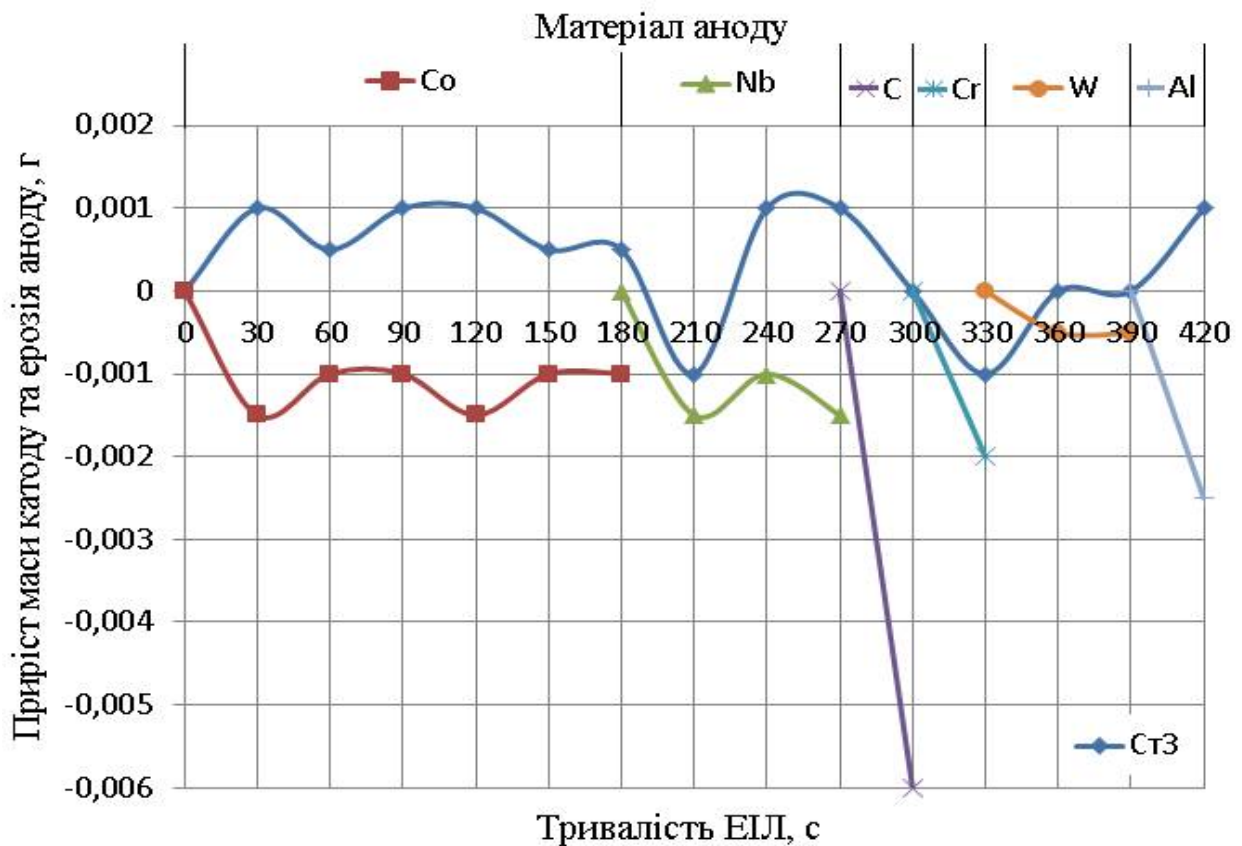


Рисунок 3.1 – Кінетика перенесення маси в процесі ЕІЛ сталі Ст3 при нанесенні у послідовності Co – Nb – C – Cr – W – Al

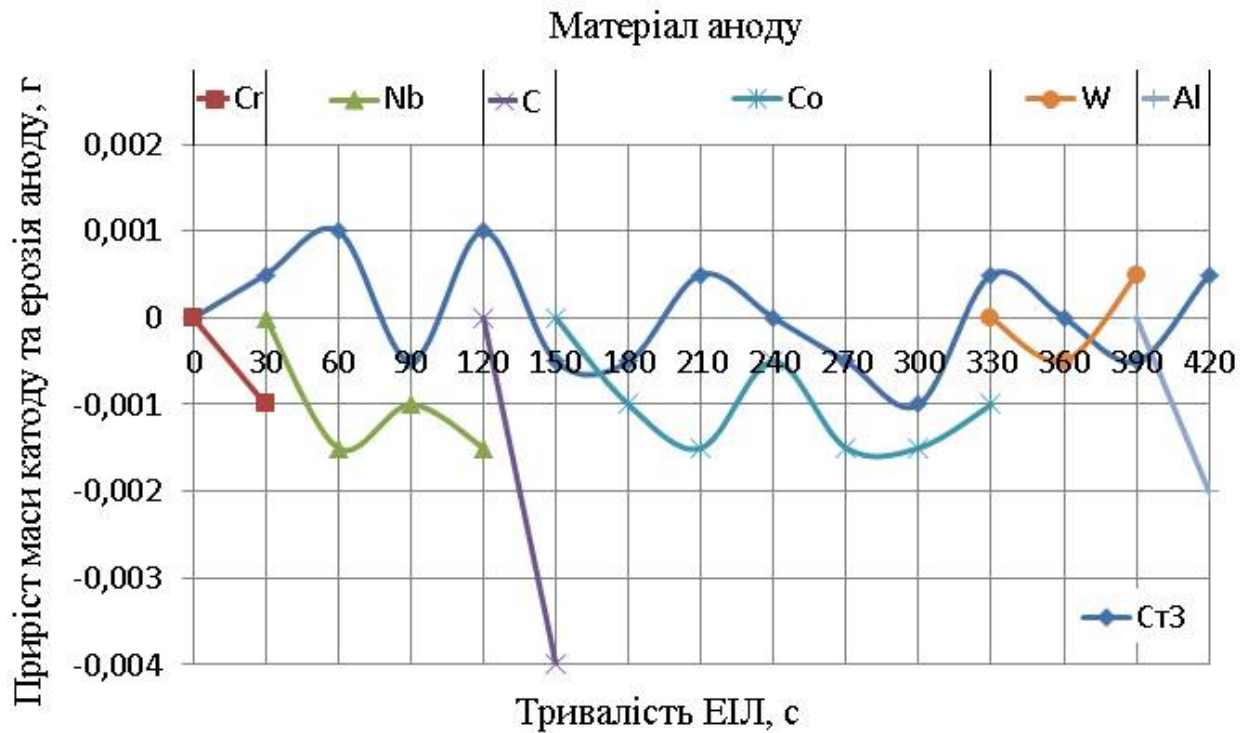


Рисунок 3.2 – Кінетика перенесення маси в процесі ЕІЛ сталі Ст3 при нанесенні у послідовності Cr – Nb – C – Co – W – Al

Для другого процесу з послідовністю нанесення Cr-Nb-C-Co-W-Al (рис. 3.2) відбуваються різкі коливання кривої в додатню та від'ємну область побудови графіків.

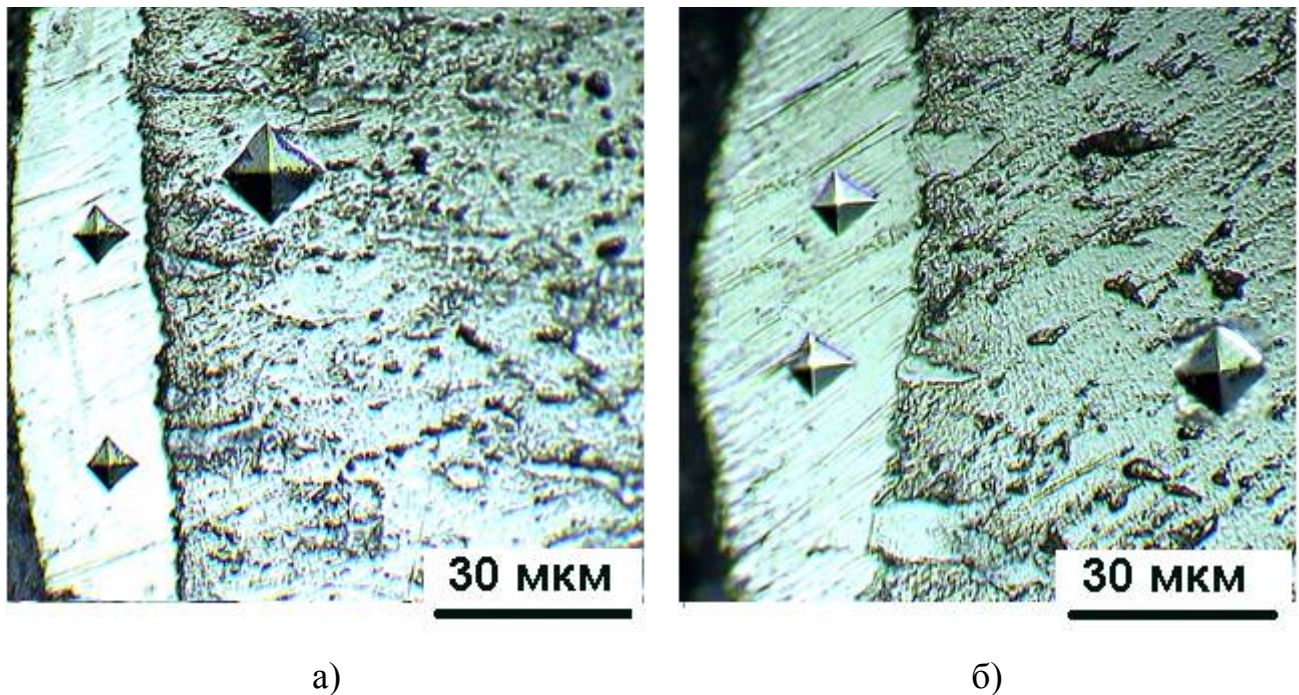
Стрибоподібний характер кінетичних кривих приросту маси можна пояснити багатофакторністю процесу ЕІЛ. Зокрема, великою кількістю матеріалів, що наносяться, різними температурами плавлення анодів та неоднаковою тривалістю обробки кожним з них. При цьому легований шар на поверхні досліджуваних зразків продовжує формуватися.

Ерозія анодів спостерігається на кожній стадії ЕІЛ, про що свідчить спадання відповідних кривих (рис. 3.1, 3.2). Особливо це помітно для алюмінію, який має найнижчу температуру плавлення (660°C) з-поміж обраних металів.

Найбільша ерозія спостерігається для неметалевого вуглецевого аноду. Це відбувається через його великий електричний опір ($15\text{ мОм}\cdot\text{м}$), який на порядок вищий, ніж у металів. При цьому міцність його значно менша за

метали. В умовах дії імпульсного розряду та механічного контакту С-аноду з основою (катодом) він швидко розігрівається до температур 1073 – 1273 К, що приводить до великої втрати маси навіть за 30 с обробки.

За результатами мікроструктурного аналізу на поверхні сталі Ст3 після ЕІЛ виявлено легований шар протяжністю до 30 мкм. З фотографій приповерхневих зон (рис. 3.3) видно, що покриття щільно прилягають до основи. Далі видніється підшар із подрібненими зернами (зона термічного впливу). За легованим шаром та підшаром є основа. У покриттях не виявлено явних дефектів.



а) – Co – Nb – C – Cr – W – Al; б) – Cr – Nb – C – Co – W – Al

Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ

За даними рентгеноструктурного аналізу поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ анодами в послідовності Co – Nb – C – Cr – W – Al виявлені фази: карбиду ніобію NbC, інтерметаліду Fe₃Co та комплексного карбиду CrFe₇C_{0,45} (рис. 3.4, табл. 3.1).

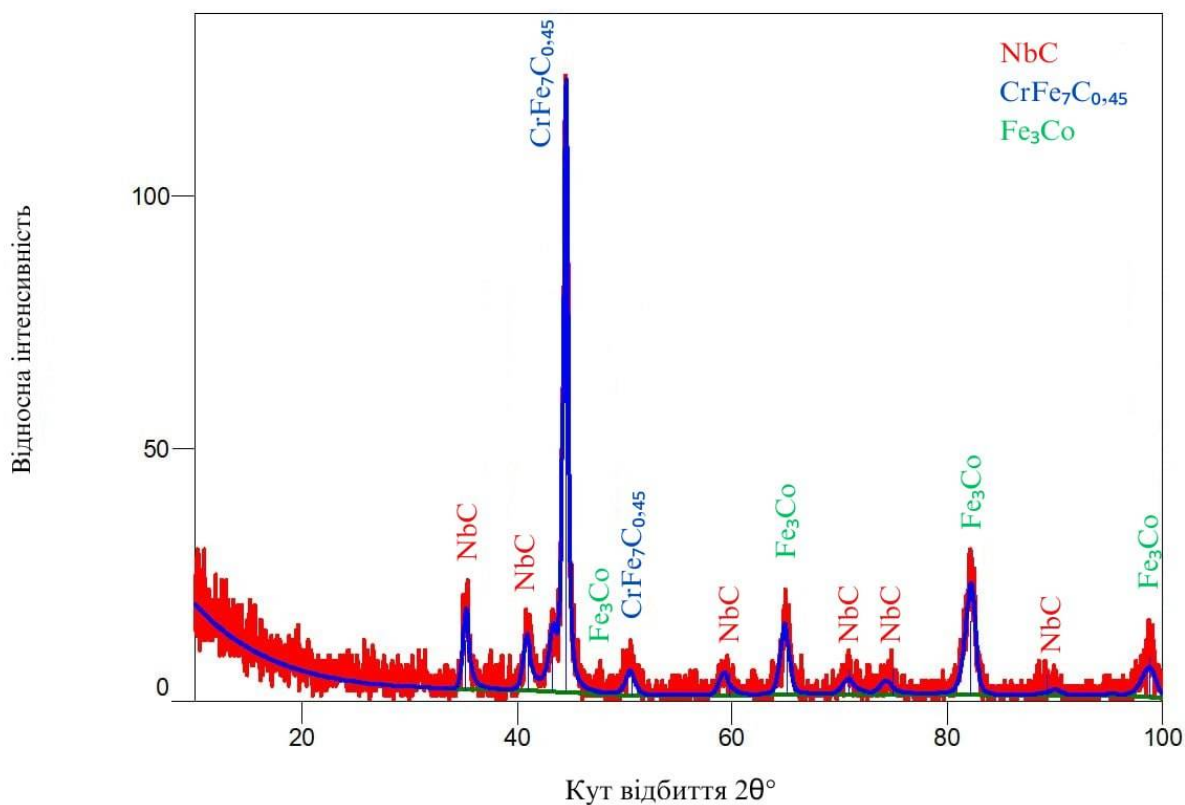


Рисунок 3.4 — Дифрактограма поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності Co – Nb – C – Cr – W – Al

Таблиця 3.1 – Фазовий склад поверхневого шару після ЕІЛ у послідовності Co – Nb – C – Cr – W – Al

№	$2-\theta^\circ$	$d/n, \text{\AA}$	I	(HKL)	Фаза
1	35,2	2,548	10	(111)	NbC
2	41,09	2,195	8	(200)	NbC
3	43,3	2,088	7	(222)	$\text{CrFe}_7\text{C}_{0,45}$
4	44,52	2,0333	83	(200)	Fe_3Co
5	50,68	1,8	4	(400)	$\text{CrFe}_7\text{C}_{0,45}$
6	59,75	1,54644	4,7	(220)	NbC
7	65,12	1,431	9	(220)	Fe_3Co
8	70,9	1,32801	4,8	(311)	NbC
9	74,97	1,26569	5	(222)	Fe_3Co
10	82,2	1,1718	15	(311)	Fe_3Co
11	89,3	1,09609	4,3	(400)	NbC
12	98,83	1,0142	8	(400)	Fe_3Co

Періоди кристалічних ґраток становлять: для фази NbC – 4,411 Å, для фази CrFe₇C_{0,45} – 7,232 Å, для фази Fe₃Co – a = 4,0664 Å, c = 2,8573 Å.

Кількісний фазовий аналіз дозволив встановити співвідношення фаз в поверхневому шарі: NbC – 18,56 %, CrFe₇C_{0,45} – 8,72 %, Fe₃Co – 72,82 %.

Розмір областей когерентного розсіювання (ОКР) для наявних фаз становить: NbC – 220 Å, CrFe₇C_{0,45} – 67,82 Å, Fe₃Co – 121 Å, мікровикривлення ґратки відповідно становлять: 0,09 %; 0,4 %; 0,3 %.

МікродюрOMETричним аналізом виявлено зміцнення поверхні сталі Ст3 шляхом нанесення електроіскрових покриттів.

Найвищу мікротвердість має Co - Nb - C - Cr - W - Al покриття на глибині 15 мкм і складає 10,5 ГПа (рис. 3.5). Розподіл мікротвердості в покритті знаходиться в межах від 6 ГПа на глибині 5 мкм від поверхні до 5,8 ГПа на глибині 30 мкм.

Розрахований коефіцієнт зміцнення легованого шару, як співвідношення найбільшої мікротвердості в покритті до мікротвердості основи (1,5 ГПа), складає 7.

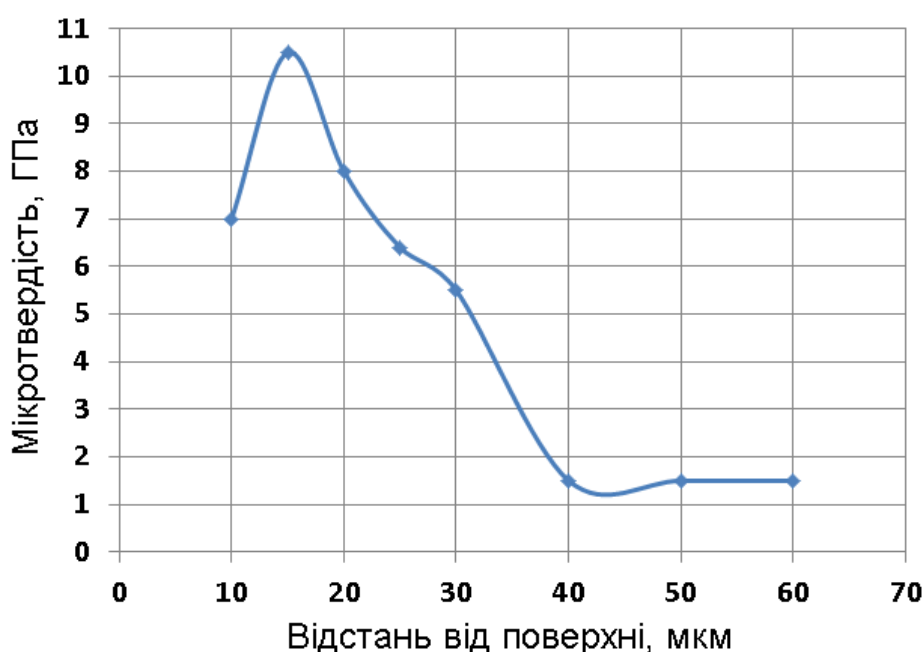


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі Ст. 3 після ЕІЛ за схемою Co - Nb - C - Cr - W - Al

При зміні послідовності нанесення за схемою Cr - Nb - C - Co - W - Al максимальна мікротвердість складає 8,7 ГПа, що є меншим у порівнянні з попереднім процесом, а, отже й коефіцієнт зміцнення є нижчим – 5,8 (рис. 3.6). При цьому характер розподілу мікротвердості за глибиною шару не змінюється.

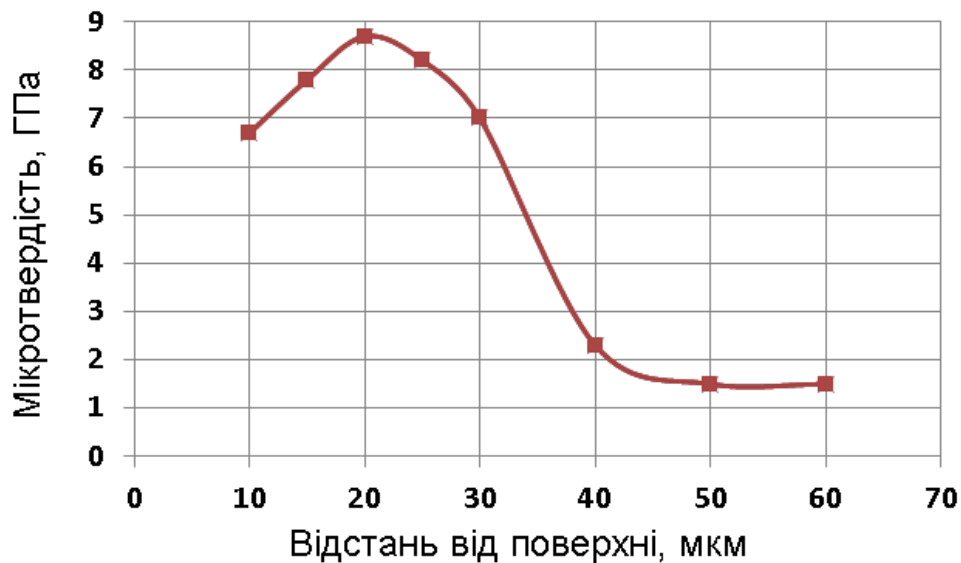


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі Ст. 3 після ЕІЛ за схемою Cr - Nb - C - Co - W - Al

Збільшення мікротвердості у поверхневому шарі можна пояснити утворенням карбідів та інтерметаліду.

Висновок до розділу 3

Встановлена можливість створення електроіскрових покриттів на сталі Ст3 при різній послідовності нанесенні Co, Nb, C, Cr, W, Al.

Виявлено, що найбільше масоперенесення при формуванні покриття відбувається при послідовності Co - Nb - C - Cr - W - Al до 320 с обробки.

За даними мікроструктурного аналізу на поверхні сталі Ст3 виявлений легований шар, товщиною 30 мкм.

Встановлено, що найбільша мікротвердість (10,5 ГПа) зафіксована на глибині 15 мкм покриття Co - Nb - C - Cr - W - Al, що пояснюється утворенням карбідів, інтерметалідів та інших сполук між основою та матеріалами легувальних електродів.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність НДР

На ринку металопрокату сталь Ст3 є найбільш затребуваною сталлю конструкційного класу через привабливість оптимальним балансом ціни та якості. При цілком бюджетній вартості у сталі Ст3 конструкційного призначення високий комплекс механічних властивостей поєднаний з технологічністю матеріалу. Сталь звичайної якості користується підвищеним попитом на ринку конструкційних матеріалів, оскільки відмінно справляється з навантаженнями різного роду, легко піддається обробці та має високу зварюваність

Поверхнева обробка сталі Ст3 шляхом електроіскрового легування (ЕІЛ) дозволяє створювати зміцнені та зносостійкі покриття, що підвищують експлуатаційні характеристики. Зокрема, покриття на деталях машин та ріжучому інструменті можуть значно підвищити твердість, зносостійкість та, навіть, жаростійкість маловуглецевої сталі Ст3, тим самим забезпечивши скорочення витрат високовартісних матеріалів основи.

Метод ЕІЛ є економічно вигідним і екологічно чистим процесом нанесення покриттів, який не вимагає складного обладнання та високих витрат енергії. Цей метод забезпечує хорошу адгезію покриття до основного матеріалу та можливість контролю товщини покриття.

Електроіскрове легування дозволяє модифікувати поверхню матеріалів, підвищуючи її твердість, зносостійкість та жаростійкість. Легування Co, Nb, C, Cr, W та Al створює на поверхні сталі Ст3 захисні шари, які здатні витримувати високі температури та механічні навантаження. Застосування функціональних покриттів на основі Co, Nb, C, Cr, W та Al може значно підвищити довговічність та надійність виробів зі сталі Ст3. Це особливо важливо для критично важливих компонентів, які працюють у жорстких умовах і мають обмежений доступ для технічного обслуговування або заміни.

Дослідження в області створення нових функціональних покриттів відкривають можливості для розробки інноваційних матеріалів з унікальними властивостями. Це сприяє розвитку нових технологій та рішень, які можуть бути використані в різних галузях промисловості.

4.2 Мета і завдання НДР

Мета даної роботи полягає у вивченні кінетики формування, мікроструктури, фазового складу та мікротвердості після пошарового ЕІЛ сталі Ст3 анодами Co, Nb, C, Cr, W, Al зі змінною послідовністю їх нанесення. Для досягнення поставленої мети планується:

1. Аналіз фахової літератури з даною темою:
 - Провести огляд сучасних досліджень та технологій у галузі електроіскрового легування низьковуглецевої сталі.
2. Опрацювання методики, що необхідна для проведення дослідження:
 - Розробити методику електроіскрового легування сталі Ст3 з використанням обраних анодів.
3. Виготовлення та обробка зразків:
 - Підготувати зразки сталі Ст3 для проведення електроіскрового легування.
 - Провести процес ЕІЛ за обраними схемами.
4. Дослідження утвореного поверхневого шару та його властивостей:
 - Виконати гравіметричний аналіз для визначення приросту маси катоду та ерозії анодів.
 - Провести мікродюрOMETричний аналіз для визначення мікротвердості поверхневого шару.
 - Виконати мікроструктурний аналіз для вивчення структури та однорідності легованого шару.
 - Провести рентгенофазовий аналіз для визначення фазового складу утвореного покриття.

5. Висунення припущень про взаємозв'язок між властивостями елементів та властивостями отриманого шару:
6. Формування висновків на основі отриманих даних:

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Один з найважливіших економічних показників – планова собівартість, є відображенням рівня матеріальних та трудових витрат, а отже її планування забезпечить бажані результати за мінімальних витрат. Планова собівартість НДР розраховувалась за такими статтями:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, що необхідні для виконання НДР;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- витрати на службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-дослідницького персоналу заснований на визначенні трудомісткості виконання НДР та їх денної заробітної плати. У виконанні даної НДР приймали участь виконавці: провідний науковий співробітник, старший науковий співробітник та інженер-дослідник.

Для КПІ ім. Ігоря Сікорського посадові заробітні плати сягають:

- провідного наукового співробітника – 10944 грн;
- старшого наукового співробітника – 9600 грн;
- інженера-дослідника – 8233 грн.

Для кожного з виконавців денна заробітна плата визначається як місячна заробітна плата поділена на середню кількість днів у місяці. Вбачаючи, що робочий тиждень складає п'ять днів, середня кількість днів у місяці становить 21.

$$\text{Денна заробітна плата} = \frac{\text{Місячна заробітна плата}}{21}, \#(4.1)$$

Тому денна заробітна плата виконавців НДР складає:

- провідного наукового співробітника – $\frac{10944}{21} = 521.14$ грн;
- старшого наукового співробітника – $\frac{9600}{21} = 457.14$ грн;
- інженера - дослідника – $\frac{8233}{21} = 392.04$ грн.

Трудовісткість окремих етапів виконання НДР наведена у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Трудовісткість окремих етапів виконання НДР

Етапи НДР		Трудовісткість, люд.-дні		
		Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник
1. Аналіз фахових публікацій з теми		7	3	0
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження		4	4	0
3. Розробка методики проведення досліджень за темою		6	5	2
4. Проведення експерименту	Утворення іскрового проміжку	5	10	2
	Формування плазми			
	Транспортування частинок до поверхні заготовки			
	Розплавлення поверхні заготовки			
	Утворення однорідного покриття			
	Затвердіння покриття			

продовження таблиці 4.1

Етапи НДР	Трудовісткість, люд.-дні		
	Провідний науковий співробітник	Провідний науковий співробітник	Провідний науковий співробітник
5. Обговорення результатів НДР	6	8	1
Всього	28	30	5

Величина заробітної плати (ЗП) виконавців обчислюється, як сума добутків трудовісткості та денної заробітної плати:

$$\text{ЗП} = 28 \cdot 521.14 + 30 \cdot 457.14 + 5 \cdot 392.04 = 30266.16 \text{ грн}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Норматив відрахувань приймається у відсотках, відповідно до діючого законодавства складає 22 % від заробітної плати.

$$\text{ВС} = 0,22 \cdot \text{ЗП}, \#(4.2)$$

$$\text{ВС} = 0,22 \cdot 30266.16 = 6658.56 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів для виконання НДР

Для виконання поставленої мети НДР необхідні матеріали, дані про які занесені до табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів

Назва матеріалу	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна вартість
Сталь Ст3	кг	0,5	120 грн/кг	60 грн
Кобальт	кг	0,5	2300 грн/кг	1150 грн
Ніобій	кг	0,5	3500 грн/кг	1750 грн

продовження таблиці 4.2

Назва матеріалу	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна вартість
Вуглець	кг	0,5	20 грн/кг	10 грн
Хром	кг	0,5	1800 грн/кг	900 грн
Вольфрам	кг	0,5	5600 грн/кг	2800 грн
Алюміній	кг	0,5	100 грн/кг	50 грн
Разом				6720 грн

Т
ран
спо
ртн
о-
заг
оті
вел

вні витрати (Втр) приймається у розмірі 10 % від повної вартості матеріалів:

$$\text{Втр} = 0.1 \cdot 6720 = 672 \text{ грн}$$

Отже, повна сума витрат на матеріали (В) становить:

$$\text{Вм} = 6720 + 672 = 7392 \text{ грн}$$

4.3.4 Інші прямі невраховані витрати

Інші прямі невраховані витрати (Снв) становлять 10 % від суми витрат на заробітну плату, суми відраховують до єдиного соціального внеску, витрат на матеріали:

$$\text{Снв} = 0.1 \cdot (\text{ЗП} + \text{ВС} + \text{Вм}), \#(4.3)$$

$$\text{Снв} = 0.1 \cdot (30266.16 + 6658.56 + 7392) = 4431,672 \text{ грн.}$$

4.3.5 Розрахунок накладних витрат

До накладних втрат відносять витрати на заробітну плату персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на охорону праці, витрати на допоміжні виробництва, техніку безпеки та екологію та інші. Нормативом відрахування (Нв) на накладні витрати для КПП ім. Ігоря Сікорського є встановлений розмір у 20 % від суми усіх прямих витрат на НДР. Таким чином сума накладних втрат для цієї НДР:

$$Нв = 0.2 \cdot (ЗП + ВС + Вм + Снв), \#(4.4)$$

$$Нв = 0.2 \cdot (30266.16 + 6658.56 + 7392 + 4431,672) = 9749,678 \text{ грн.}$$

4.3.6 Розробка планової калькуляції собівартості НДР

Планова собівартість НДР визначається як сума витрат на виконання НДР. Результати калькуляції занесені до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової собівартості НДР за темою

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн	%
Загальна заробітна плата виконавців теми	ЗП	30266.16	51,73
Відрахування до єдиного соціального внеску	ВС	6658.56	11,38
Витрати на матеріали	ВМ	7392	12,64
Інші прямі витрати	Снв	4431,672	7,57
Накладні витрати	Нв	9749,678	16,67
Всього		58497,07	100

Відповідно до даних з тал. 4.3 загальна планова собівартість НДР складає: $ВНДР = 58497,07 \text{ грн.}$

4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності

У цій роботі проведено дослідження з пошуковим та теоретичним спрямуванням. Оскільки відсутні повні дані щодо сфери застосування отриманих результатів дослідження, прямий розрахунок очікуваного річного ефекту стає складним. У такій ситуації використовується бальна система оцінки економічної ефективності, застосовуючи наступні показники:

а) Важливість розробки: оцінюється відповідно до таких критеріїв:

- Робота, яка не входить до складу комплексних програм або завдань директивних органів.
- Робота, що виконується за угодою про науково-технічне співробітництво.
- Робота, що є частиною відомчої програми.
- Робота, що є частиною міжнародної комплексної програми.

б) Можливість використання результатів: оцінюється за такими критеріями:

- Результати, що можуть бути використані тільки в даному підрозділі.
- Результати, що можуть бути використані однією організацією.
- Результати, що можуть бути використані багатьма організаціями.
- Результати, що можуть бути використані споживачами в межах однієї галузі.
- Результати, що можуть бути використані споживачами у різних галузях.

в) Новизна дослідження та його теоретичне значення: оцінюється відповідно до таких показників:

- Аналіз, узагальнення або класифікація існуючої інформації.
- Отримання нової інформації, яка доповнює уявлення про досліджувані процеси.

- Отримання нової інформації, що частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів.
- Формулювання нових теорій, методик тощо.
- Отримання інформації, яка принципово змінює уявлення про досліджувані процеси, без аналогів.

г) **Складність розробки:** оцінюється відповідно до таких критеріїв:

- Робота, що виконується одним підрозділом з витратами менше 20000 грн.
- Робота, що виконується одним підрозділом з витратами від 20 тис. грн. до 100 тис. грн.
- Робота, що виконується одним підрозділом з витратами від 100 тис. грн. до 200 тис. грн.
- Робота, що виконується багатьма підрозділами з витратами від 200 тис. грн. до 1 млн. грн.
- Робота, що виконується багатьма організаціями з витратами більше 1 млн. грн.

Кожному з цих показників призначається відповідний коефіцієнт (K_1 , K_2 , K_3 , K_4), який використовується для розрахунку сумарного річного економічного ефекту.

Загальна оцінка (O) є добутком усіх коефіцієнтів:

$$O = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \#(4.5)$$

де K_1 – коефіцієнт важливості розробки;

K_2 – коефіцієнт можливості використання результатів;

K_3 – коефіцієнт теоретичної значущості та рівня новини;

K_4 – коефіцієнт складності розробки. До таблиці 4.4 занесені результати бальної оцінки річної економічної ефективності НДР.

Таблиця 4.4 – бальна оцінка річної економічної ефективності НДР

Позначення показник ефективності НДР	Сутність показників	Бальна оцінка ефективності	Характеристика НДР
K ₁	Важливість	5	Робота являє собою частину відомчої програми
K ₂	Можливість використання результатів	8	Результатами розробки можуть користуватися в межах галузі
K ₃	Теоретична значущість та рівень новини	5	Внаслідок виконання роботи отримано нову інформацію, що частково змінює уявлення щодо природи досліджуваних процесів
K ₄	Складність розробки	3	роботу виконує один підрозділ, витрати від 20 тис. грн. до 100 тис. грн.

Відповідно до даних занесених у табл. 4.4 величина О дорівнює: \

$$O = 5 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 3 = 600$$

Умовний річний економічний ефект (ЕНДР) науково-дослідницької роботи визначається:

$$\text{ЕНДР} = 500 \cdot O - \text{ЕН} \cdot \text{ВНДР}, \#(4.6)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

ЕН – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($ЕН = 0,2 \dots 2,0$ для нашого розрахунку обираємо $ЕН = 0,2$);

ВНДР – витрати на виконання НДР (планова річна собівартість виконання НДР, у зазначених вище розрахунках $ВНДР = 105345,36$ грн.).

Скориставшись формулою (4.2) маємо:

$$ЕНДР = 500 \cdot 600 - 0,2 \cdot 58497,07 = 288300,586$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$ЕНДР = \frac{ЕН}{ВНДР}, \#(4,7)$$

$$НДР = \frac{288300,586}{58497,07} = 4,928$$

Розрахований коефіцієнт свідчить про доцільність проведення НДР.

Висновки до розділу 4

Обґрунтована науково-технічна актуальність проведення даної НДР. Планова кошторисна собівартість проекту була визначена з урахуванням витрат на всі необхідні ресурси. Розрахунок економічної ефективності свідчить про доцільність реалізації даної роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета цього розділу – забезпечення нешкідливих та безпечних умов праці. У розділі проведено аналіз умов праці, пов'язаних із виконанням роботи зі створення функціональних покриттів на сталі Ст3 методом електроіскрового легування Co, Nb, C, Cr, W та Al, а також розроблено засоби та заходи, спрямовані на усунення несприятливих чинників і забезпечення безпеки персоналу у разі надзвичайних ситуацій.

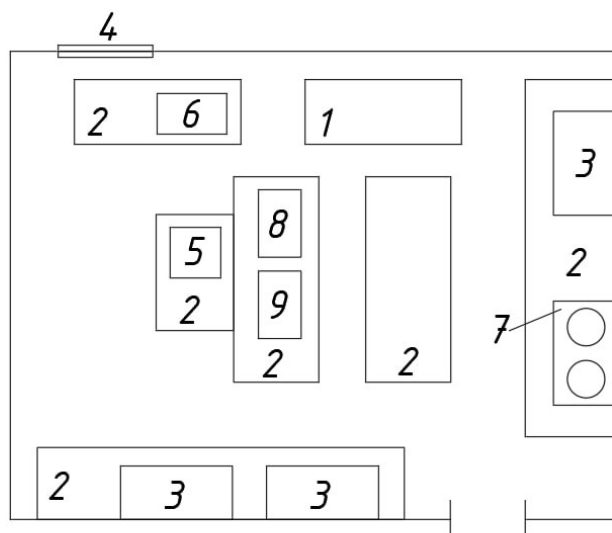
5.1 Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві

Дипломна робота проводилась на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки і у Центрі колективного користування науковим обладнанням “Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів” КПІ ім. Ігоря Сікорського. Основним нормативним документом є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо захисту та дотримання конституційних прав працівників на охорону їх життя і здоров'я під час трудової діяльності. Регулювання закону відбувається за участю відповідних органів державної влади [49].

Відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у цій галузі. Відповідно до статті 14 працівник зобов'язаний дбати про власну безпеку та здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих, знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту, проходити у встановленому порядку медичні огляди [50].

5.2 Аналіз параметрів приміщення

Робота зі створення функціональних покриттів на сталі Ст3 методом електроіскрового легування Co, Nb, C, Cr, W та Al виконується в лабораторії № 045 на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є. О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського. Лабораторія спеціально обладнана для проведення експериментальних робіт і досліджень у сфері матеріалознавства, зокрема для процесів електроіскрового легування [51]. Схема лабораторії наведена на (рис. 5.1).



- 1 – шафа; 2 – стіл; 3 – інше обладнання; 4 – вікно; 5 – ПМТ-3М;
 6 – «Елітрон – 26А»; 7 – шліфувальний станок; 8 – електронні ваги;
 9 – комп'ютер

Рисунок 5.1 – План лабораторії де проводилось дослідження, кабінет № 045

Приміщення лабораторії має наступні параметри:

- Довжина: 6,5 метра;
- Ширина: 5 метрів;
- Висота: 3,8 метра.

Ці параметри забезпечують загальну площу лабораторії 32,5 квадратних метра та об'єм 123,5 кубічних метра. Згідно з санітарно-

гігієнічними нормами, на одного працівника повинно припадати не менше 4 квадратних метрів площі та 15 кубічних метрів об'єму приміщення. Оскільки кількість працюючих у лабораторії не перевищує 3 осіб, площа та об'єм на одного працівника значно перевищують мінімальні нормативні вимоги, що забезпечує комфортні та безпечні умови праці [51].

Важливим аспектом є організація робочого простору, яка включає розміщення основного та допоміжного обладнання. Основне обладнання включає установку для електроіскрового легування «ЭЛИТРОН-26А», ваги для гравіметричного аналізу та мікротвердомір ПМТ-3М для визначення мікротвердості зразків. Всі прилади розміщені таким чином, щоб забезпечити зручний доступ до них, мінімізуючи ризик травм та забезпечуючи ефективну організацію робочого процесу [52].

Приміщення обладнане необхідними меблями: столами для роботи з документацією та комп'ютерною технікою, шафами для зберігання інструментів та матеріалів. В лабораторії є вікно, що забезпечує природне освітлення.

Параметри приміщення та його облаштування відповідають всім необхідним вимогам, що дозволяє забезпечити безпеку та комфорт працівників, а також ефективне виконання науково-дослідних та експериментальних робіт.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення в лабораторії є важливим чинником, що впливає на продуктивність праці та безпеку працівників. Освітленість робочого місця повинна відповідати встановленим нормативним вимогам, забезпечуючи достатній рівень освітлення для проведення точних наукових досліджень і експериментів.

У лабораторії № 045 освітлення здійснюється комбінованим способом, що включає природне бічне освітлення та штучне освітлення [53].

Природне освітлення:

- Тип освітлення: Бічне;
- Розташування вікна: Вікно виходить на північ, що дозволяє уникнути прямих сонячних променів і забезпечує рівномірне розсіяне світло протягом усього дня;
- Відстань від вікна до робочих місць: Не перевищує 3 метри, що гарантує достатню освітленість робочих зон природним світлом.

Штучне освітлення:

- Тип освітлення: комбіноване (загальне та місцеве) ;
- Лампи: люмінесцентні лампи ЛБ-40 (24 одиниці на лабораторію) ;
- Розташування ламп: лампи рівномірно розміщені на стелі, що дозволяє забезпечити достатній рівень загального освітлення.
- Колірна температура ламп: вибрані лампи мають колірну температуру, близьку до денного світла, що сприяє зниженню навантаження на зір і підвищенню комфорту праці.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, освітленість робочих місць у лабораторії повинна забезпечувати комфортні умови для роботи, знижуючи ризик зорової втоми та підвищуючи точність і ефективність виконуваних завдань. Оптимальний рівень освітленості для лабораторних робіт становить не менше 500 люкс, що досягається завдяки комбінації природного та штучного освітлення [53].

5.4 Аналіз мікроклімату приміщення

Мікроклімат приміщення є важливим фактором, що впливає на працездатність і здоров'я працівників. Основні параметри мікроклімату включають температуру, вологість і швидкість руху повітря. Для створення комфортних умов праці ці параметри повинні відповідати встановленим нормативам.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, для легких робіт (категорія Іб), до яких належить робота в лабораторії, встановлено такі оптимальні та допустимі умови мікроклімату (таб. 5.1) [54].

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі умови мікроклімату

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	21-23 (опт.), 20-24 (доп.)	40-60 (опт.), <75 (доп.)	0,1 (опт.), 0,1-0,3 (доп.)
Теплий	22-24 (опт.), 21-28 (доп.)	40-60 (опт.), <65 (доп.)	0,2 (опт.), 0,1-0,3 (доп.)

На момент проведення робіт у лабораторії № 045 були зафіксовані наступні параметри мікроклімату:

- Температура:
 - В холодний період: +5 °С;
 - В теплий період: +15 °С.
- Відносна вологість:
 - В холодний період: 70 %;
 - В теплий період: 55 %.
- Швидкість руху повітря:
 - В холодний період: 0,1 м/с;
 - В теплий період: 0,2 м/с.

Аналіз показує, що фактичні умови мікроклімату в лабораторії відповідають оптимальним умовам, визначеним нормативами. Особливо це стосується температурного режиму, де значні відхилення можуть негативно впливати на комфорт і продуктивність працівників.

5.5 Аналіз наявності шуму в приміщенні

Шум є одним із суттєвих факторів, що впливають на умови праці в лабораторії. Робота установки «Элитрон-26А» та іншого обладнання супроводжується виникненням короткочасного шуму, який здійснює негативного впливу на здоров'я та працездатність працівників. Основним джерелами шуму в лабораторії є установка для електроіскрового легування «Элитрон-26А» [55].

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99, які встановлюють допустимі рівні шуму для різних видів приміщень і робочих процесів. Для лабораторних приміщень допустимий рівень шуму не повинен перевищувати 50-60 дБ [55].

За результатами вимірювань рівня шуму в лабораторії, під час роботи установки «Элитрон-26А» рівень шуму може досягати 55 дБ, що не перевищує допустимі норми.

5.6 Виробниче випромінювання

Під час роботи з установкою, такою як «Элитрон-26А», не виникає небезпека впливу різних видів випромінювань, включаючи рентгенівське, ультрафіолетове, інфрачервоне та електромагнітне випромінювання [56].

5.7 Запиленість та загазованість

Під час виготовлення шліфів на механічному верстаті та проведення інших технологічних операцій у лабораторії 045 не виникає проблеми запиленості та загазованості повітря. Утворення пилу і виділення різних газоподібних речовин можуть мати негативний вплив на здоров'я працівників, тому важливо контролювати ці параметри та вживати необхідних заходів для їх зниження.

Джерелами запиленості та загазованості в лабораторії можуть бути:

- Механічне шліфування зразків
- Полірування зразків із використанням пасти «ГОІ»
- Використання хімічних реагентів для травлення зразків

Виміряні концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони наведені у (таб. 5.2).

Таблиця 5.2 – Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Речовина	Виміряна концентрація, мг/м ³	Допустима концентрація, мг/м ³
Оксид хрому	0,25	1
Спирт етанол	800	1000
Азотна кислота	2	5

Вплив шкідливих речовин на здоров'я:

- Вдихання пилу може призвести до захворювань дихальної системи, таких як силікоз та інші хронічні бронхіти;
- Вплив може викликати подразнення шкіри, очей і дихальних шляхів, а також підвищує ризик розвитку онкологічних захворювань;
- При високих концентраціях може викликати отруєння, що проявляється головним болем, запамороченням, нудотою та іншими симптомами;
- Вдихання парів азотної кислоти може викликати сильне подразнення дихальних шляхів, а також хімічні опіки слизових оболонок.

Заходи для зниження запиленості та загазованості:

1. Вентиляція: Встановлена ефективна система вентиляції, яка забезпечує постійний обмін повітря в лабораторії та видалення шкідливих речовин (рис. 5.2);

2. Засоби індивідуального захисту: Забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту органів дихання, такими як респіратори ШБ1 «Лепесток 5», а також захисними окулярами і рукавичками;

3. Навчання та інструктажі: Проводиться інструктаж для працівників щодо безпечного поводження з хімічними речовинами та використання засобів захисту.



Рисунок 5.2 – Вентиляційна решітка

Забезпечення контролю за запиленістю та загазованістю в лабораторії є важливим елементом охорони праці. Впровадження вищезазначених заходів дозволяє створити безпечні умови праці, знизити ризики для здоров'я працівників та забезпечити відповідність нормативним вимогам.

5.8 Електробезпека

Електробезпека є важливим аспектом охорони праці в лабораторії 045, де використовується різноманітне електрообладнання. Приміщення лабораторії класифікується як приміщення без підвищеної небезпеки електротравм. Це означає, що умови в лабораторії, такі як відсутність підвищеної вологості та струмопровідних підлог, не створюють додаткових ризиків ураження електричним струмом.

Основні характеристики електробезпеки:

- Використання електроустановок з напругою 220 В та частотою 50 Гц є стандартом для більшості лабораторій. Установка для ЕІЛ «Элитрон-26А» працює при робочих напругах 60 - 70 В. Ці параметри електромережі є безпечними за умови правильного монтажу та експлуатації обладнання [57];
- Всі корпуси електроустаткування та приладів у лабораторії забезпечені захисним заземленням. Це дозволяє уникнути небезпечного накопичення електричного заряду на корпусах пристроїв та запобігає ураженню електричним струмом у разі несправності ізоляції;
- Електропроводка в лабораторії виконана відповідно до діючих стандартів і норм, що включає використання якісних матеріалів та дотримання правил монтажу;
- Регулярне технічне обслуговування електрообладнання, перевірка ізоляції, заземлення та стану електропроводки є обов'язковими заходами для забезпечення безпеки працівників;
- Працівники лабораторії проходять регулярні інструктажі з електробезпеки, що включають правила безпечної експлуатації електрообладнання, дії у разі виникнення аварійної ситуації та використання засобів індивідуального захисту [57].

Забезпечення електробезпеки в лабораторії є важливим елементом охорони праці. Правильне заземлення, дотримання стандартів монтажу та експлуатації електрообладнання, а також регулярні інструктажі сприяють зниженню ризиків ураження електричним струмом та забезпечують безпечні умови роботи.

5.9 Пожежна безпека

Пожежна безпека є ключовим аспектом охорони праці в будь-якій лабораторії [58]. де використовуються легкозаймисті матеріали та

електрообладнання. Лабораторія належить до категорії В за пожежною безпекою, що означає наявність твердих горючих та важкогорючих матеріалів, здатних горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або між собою.

Основні засоби пожежогасіння:

- Лабораторія оснащена вуглекислотним вогнегасником, які розміщені в доступному місці. Вуглекислотні вогнегасники використовуються для гасіння пожеж, пов'язаних з електрообладнанням, оскільки вони не проводять електричний струм і не залишають слідів після використання;
- Лабораторія обладнана системою автоматичної пожежної сигналізації, яка включає датчики диму та температури. Ця система забезпечує швидке виявлення пожежі та негайне сповіщення працівників про небезпеку [58].

Правила протипожежної безпеки:

- Регулярне технічне обслуговування електрообладнання, перевірка ізоляції та з'єднань, а також своєчасний ремонт несправностей допомагають уникнути займання;
- Забороняється використання відкритого вогню в лабораторії. Всі роботи з вогнем проводяться тільки в спеціально відведених для цього місцях з використанням відповідних засобів захисту;
- У лабораторії розроблений та вивішений план евакуації у разі пожежі. Працівники ознайомлені з ним і регулярно проводять тренування з евакуації;
- Регулярні інструктажі з пожежної безпеки, навчання працівників використанню засобів пожежогасіння та дій у разі пожежі є обов'язковими заходами [58].

План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на (рис. 5.2).



Рисунок 5.3 – План евакуації

Забезпечення пожежної безпеки в лабораторії вимагає комплексного підходу, що включає обладнання приміщення засобами пожежогасіння, дотримання правил протипожежної безпеки та регулярні інструктажі працівників. Впровадження цих заходів сприяє зниженню ризиків виникнення пожеж та забезпечує безпечні умови роботи в лабораторії.

Висновки до розділу 5

Огляд умов роботи та заходів щодо безпеки на робочому місці виявив, що приміщення та обладнання відповідають ключовим стандартам. Реалізація заходів, спрямованих на поліпшення мікроклімату, а також забезпечення електробезпеки та протипожежної безпеки, є важливими для формування безпечного та зручного робочого середовища.

ВИСНОВКИ

1. Показана можливість створення зміцнених багатокомпонентних покриттів товщиною 30 мкм на поверхні сталі Ст3 шляхом електроіскрового легування Co-, Nb-, C-, Cr-, W-, Al-анодами при пошаровому їх нанесенні у різній послідовності.

2. Встановлено зростання поверхневої мікротвердості до 10,5 ГПа в процесі ЕІЛ у послідовності Co – Nb – C – Cr – W – Al та до 8,7 ГПа в процесі ЕІЛ у послідовності Cr – Nb – C – Co – W – Al завдяки наявності у покриттях карбідних фаз NbC.

3. Виявлено, що зміна послідовності використання матеріалів анодів під час ЕІЛ впливає на величину мікротвердості легованого шару, але не здійснює впливу на його товщину.

4. Проведено обґрунтування науково-технічної актуальності дослідження. Визначена планова кошторисна собівартість науково-дослідницької роботи. Розраховано коефіцієнт економічної ефективності, що підтвердило доцільність виконання цієї НДР.

5. Огляд умов роботи та заходів щодо безпеки на робочому місці виявив, що приміщення та обладнання відповідають ключовим стандартам.

CONCLUTIONS

1. The possibility of creating strengthened multi-component coatings with a thickness of 30 μm on the surface of St3 steel by means of electrospark alloying by Co-, Nb-, C-, Cr-, W-, Al- anodes with their layer-by-layer application in different sequences is shown.

2. It was established that the surface microhardness increased to 10.5 GPa in the ESA process in the sequence Co – Nb – C – Cr – W – Al and to 8.7 GPa in the ESA process in the sequence Cr – Nb – C – Co – W – Al due to presence of NbC, phases in coatings.

3. It was found that changing the sequence of use of anode materials during ESA affects the amount of microhardness of the alloyed layer, but does not affect its thickness.

4. The scientific and technical relevance of the research has been substantiated. The planned cost estimate for the research project was determined. The economic efficiency coefficient was calculated, confirming the feasibility of conducting this research project.

5. The review of working conditions and safety measures at the workplace revealed that the premises and equipment comply with key standards.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко – М.: Машиностроение, 1976. – 47 с.
2. Rajurkar K. A report on technology assessment of electrical discharge and electro–chemical machine tools / K. Rajurkar, Jaykumar Narasimhan. – USA : University of Nebraska–Lincoln. - 2003. – 105 p.
3. Кінетика зворотного масопереносу при електроіскровому легуванні та формування вторинної структури на аноді / А. Д. Верхотуров [та ін.] // Фізика і хімія обробки матеріалів. – 1986. – № 4. – С. 65–68.
4. Лубан Р. Б. О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р. Б. Лубан, Л. С. Пеккер // ЭОМ. – 1991. – № 8. – С. 13–15.
5. Іванова Є. В. Феноменологічна модель електроіскрового легування/ Є. В. Іванова // Збірник праць конференції "Якість у виробничих і соціально-економічних системах", 2016. – С. 183–185.
6. Ковришкін М. Методи формування покриттів на різальному інструменті / М. Ковришкін, О. Шевченко, С. Довжук // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2010. – № 23. – С. 344–351.
7. Електроіскрове легування металевих поверхонь / Лазаренко Б.Р [та ін.]. – Київ : Наук. думка, 1986. – 276 с.
8. Лобачова Г.Г. Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хіміко-термічною обробкою / Г.Г. Лобачова // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Київ, 2012. – 200 с.
9. Зайцева Н.В. Структура і фазовий склад поверхневих шарів сталі після електроіскрового легування та деформаційного впливу: автореф. дис.

на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.16.01 "Металознавство і термічна обробка металів" / Н.В. Зайцева. – Київ, 2000. – 20 с.

10. Підчерняєва І.А. Вплив пошарового електроіскрового легування на властивості композиційного електролітичного покриття системи Ni–B / І.А.

Підчерняєва [та ін.] // Порошкова металургія. – 2004. – № 1/2. – С. 42 – 46.

11. Михайлов В.В. Структурно-фазові перетворення та залишкові напруження після комбінованого зміцнення сталевих деталей електроіскровим легуванням і електролітною хіміко-термічною обробкою / В.В. Михайлов [та ін.] // Електронна обробка матеріалів. – 1999. – № 3. – С. 4 – 9.

12. Лобачова Г.Г. Створення зміцнених покриттів на сталі Ст.3 методом електроіскрового легування Co, Nb, Ti / Г.Г. Лобачова [та ін.] // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 31.

13. Іващенко Є.В. Вплив послідовності нанесення Cr, C, Al в процесі електроіскрового легування на структуру та властивості поверхневих шарів сталі ХВГ / Є.В. Іващенко [та ін.] // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 30.

14. Балахонова Н.О. Формування покриттів на сталі Ст.3 електроіскровим легуванням титаном, алюмінієм та графітом / Н.О. Балахонова [та ін.] // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 25.

15. Лобачова Г.Г. Особливості формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі в процесі пошарового нанесення титану, алюмінію та заліза /

Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, Д.В. Доронін // Проблеми тертя та зношування. – № 4 (77), – 2017. – С.75 – 79.

16. Лобачова Г.Г. Вплив послідовності нанесення титану та хрому в процесі електроіскрового легування на структуру та властивості приповерхневих шарів сталі Ст.3 / Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, В.М. Гурська // Металознавство та обробка металів.– 2018. – № 1. – С. 30 – 35.

17. Лобачова Г.Г. Створення функціональних покриттів на поверхні маловуглецевої сталі багатостадійним електроіскровим легуванням хромом та графітом у насичувальних середовищах / Г.Г. Лобачова [та ін.] // Проблеми тертя та зношування. – № 2(71), – 2016. – С. 62 – 66.

18. Іващенко Є.В. Створення функціонального покриття на залізі багаторазовим електроіскровим легуванням $Al - C - Al$ / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, К.С. Хархута // Збірка тез доповідей Десятої міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 20 – 21 квітня 2017 р., Київ, Україна. – С. 148.

19. Іващенко Є.В. Формування функціональних покриттів на сталі 45, одержаних пошаровим електроіскровим легуванням хромом, нікелем, алюмінієм та графітом / Є.В. Іващенко [та ін.] // Збірник тез доповідей V Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 5». 3 -5 грудня 2015 р., м. Київ, Україна. – С. 140.

20. Лобачова Г.Г. Поверхнєве зміцнення сталі Ст.3 шляхом створення багатокомпонентних електроіскрових покриттів з вольфраму, міді та графіту / Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, К.Є. Ігнасюк // Металознавство та обробка металів.– 2015. – № 4. – С. 7 – 11.

21. Лобачова Г.Г. Функціональні характеристики поверхні сталі Ст.3 після послідовного багатостадійного електроіскрового легування хромом та нікелем / Г.Г. Лобачова [та ін.] // Збірка тез доповідей Дев'ятої міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології

на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 14 – 15 квітня 2016 р., Київ, Україна. – С. 27.

22. Лобачова Г. Г. Створення багатокомпонентних покриттів на сплавах заліза пошаровим електроіскровим легуванням перехідними металами / Г. Г. Лобачова, Є. В. Іващенко, Бовсунівський О. В. // Матеріали VII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології», 22 – 24 травня 2013 г., Київ Україна. – С. – 109.

23. Лобачова Г. Г. Формування покриттів на залізі багаторазовим електроіскровим легуванням алюмінієм та графітом / Г. Г. Лобачова, Ю. М. Сікорський // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів : Зб. тез доп. Восьмої міжнар. конф. студентів, аспірантів та молодих вчен., Київ, 23–24 квіт. 2015 р. – С. 79.

24. Лобачова Г. Електроіскрове легування сталі Ст.3 нікелем, вольфрамом та вуглецем / Г. Лобачова, А. Мазурик, К. Мелашенко // Актуальні задачі сучасних технологій : Зб. тез доп. IV Міжнар. науково-техн. конф. молодих уч. та студентів, Тернопіль, 25–26 листоп. 2015 р. – С. 62.

25. Михайлюк А.І. Зменшення шорсткості електроіскрових покриттів за наступної обробки графітовим електродом / А.І. Михайлюк // Електронна обробка матеріалів. – 2003, – № 3. – С. 21 – 23.

26. Паустовський О.В. Електроіскрове легування сталей матеріалами на основі сплаву ВК з карбідохромовими добавками / О.В. Паустовський, С.М. Кириленко, Р.А. Алфінцева, О.Д. Костенко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2005. – № 2. – С. 105 – 108.

27. Панарін В. Є. Евтектичні композиційні матеріали на основі перехідних 7 металів з тугоплавкими фазами втілення. Основи створення та застосування : монографія / В. Є. Панарін [та ін.]. - К.: КВІЦ, 2015. - 240 с.

28. Шурин А. К. Фазові рівноваги і структура сплавів Co-ZrC, Co-HfC / А. К. Шурин, Г. П. Дмитрієва // Доповіді АН УССР, 1975. - No 2. - С. 845- 848.

29. Дмитриева Г. П. Диаграмма состояний системы Co-VC-NbC / Г. П. Дмитриева [та ін.] // Порошкова металургія, 1989. - № 3. - С. 80-87.
30. Шурин А. К. Диаграммы состояния карбид- и нитридсодержащих систем / А. К. Шурин [та ін.] // Диаграммы состояния в материаловедении. Материалы конференции. Киев. - Изд. ИПМ АН УССР, 1981.- С. 28-38.
31. Дмитрієва Г.П. Діаграма стану системи Co-Ti-Nb-C. Перетин Co-TiC_{0,86}-NbC_{0,9} / Г.П. Дмитрієва, Т.С. Черепова, А.К. Шурін // Порошкова металургія, 1992. – № 4. – С. 219-221.
32. Дмитрієва Г.П. Зносостійкість кобальт-карбідного евтектичного сплаву в умовах газодинамічного навантаження / Г.П. Дмитрієва, Т.С. Черепова // Металофізика та новітні технології, 2013. – Т. 35. – № 10. – С. 1383-1390.
33. Черепова Т. С. Зносостійкий сплав для захисту контактних поверхонь робочих лопаток авіаційних двигунів від окислення при високих температурах / Т. С. Черепова [та ін.] // Наука та іновації. - 2014. - Т. 10.- № 4. - С. 22-31.
34. Дмитрієва Г. П. Фазові рівноваги в сплавах системи Co-CoAl-W. По- відомлення перше / Г. П. Дмитрієва, Т. С. Черепова, А. К. Шурин // Металознавство та обробка металів, 2005.- № 4. - С. 3-6.
35. Дмитрієва Г. П. Фазові рівноваги в сплавах системи Co-CoAl-W. По- відомлення друге / Г. П. Дмитрієва, Т. С. Черепова, А. К. Шурин // Металознавство та обробка металів, 2006. -№ 2. - С. 22-25.
36. Dmitrieva G. Al-Co-W fusion diagram in the Co-CoAl-W part / G. Dmitrieva, V. Vasilenko, I. Melnik // Chemistry of Metals and Alloys, 2008.- No 1.- P. 1-5.
37. Характеристика матеріалу Ст3 [Електронний ресурс] // Марочник стали и сплавов. - Режим доступу: http://www.splavkharkov.com/mat_start.php?name_id=348 (дата звернення: 16.05.2024). – Назва з екрану.

38. Zhengchuan Z. A review of the electro-spark deposition technology / Z. Zhengchuan [et al.] // Bulletin of Sumy National Agrarian University. – 2022. – 27 May. – P. 45–53.
39. Vitureanu P. Advanced Electro-Spark Deposition Process on Metallic Alloys / Petrică Vitureanu, Manuela-Cristina Perju, Dragoș-Cristian Achiței // Advanced Surface Engineering Research. – 2018. – № 3.
40. Ніколенко С. В. Електродні матеріали для електроіскрового легування з мінеральними і самофлюсуючимися добавками / Ніколенко С. В, Хосен Рі. – [Б. м.] : Вид-во Тихоокеа. держ. ун-ту, 2015. – 305 с.
41. Физические методы восстановления деталей [Електронний ресурс] // Студопедия. – Режим доступу: https://studopedia.su/15_184645_elektroiskrovoye-legirovanie.html (дата звернення: 16.05.2024). – Назва з екрану.
42. The coating of TiC layer on the surface of nickel by electric discharge coating (EDC) with a multi-layer electrode / Hwang [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. – 2010. – P. 642–652.
43. Singh. Review to EDM by Using Water and Powder-Mixed Dielectric Fluid / Singh, Sharanjit, Arvind Bhardwaj // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2011. – Vol. 10, no. 2. – P. 199–230.
44. Yeh J.W. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes. / J.W. Yeh [et al.] // Advanced Eng. Mater, 2004. – Vol. 6, No. 5. – P. 299–303.
45. Герук С.М. Підвищення зносостійкості робочих поверхонь технологічної оснастки методом електроіскрового легування / Герук С.М, Држевецький Ю.М, Федірко П.П // Підвищення надійності машин і обладнання: Тези доп. студентів та магістрантів на II Всеукр. студент. науково-практ. конф., Кіровоград, 10 квіт. 2008 р. – Кіровоград, 2008. – С. 38–41.
46. ДСТУ ISO 6507-1:2007 "Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування."

47. Мікроскоп XS-3330 [Електронний ресурс] // Лабімпекс. – Режим доступу: <https://labimpex.com.ua/ua/p1805813125-mikroskop-3330-trinokulyarnyj.html> (дата звернення: 04.06.2024). – Назва з екрана.
48. Сучасні експериментальні методи аналізу низькорозмірних структур: лабораторний практикум [текст] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.В. Карпець, С.І. Сидоренко, А.П. Бурмак. – 2021. – 113 с
49. Охорона праці. URL: http://kodeksy.com.ua/dictionary/o/-ohorona_pratsi.htm. (дата звернення: 05.06.2024).
50. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист: навчальний посібник для студентів спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / О. Г. Левченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с.
51. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко [та ін.] // За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. - 472с.
52. ДБН В.2.5-28. Норми природного і штучного освітлення. – На заміну СНиП 2-4-79 ; чинний від 2006-10-01. – Вид. офіц. – [Б. м. : б. в.], 2006.
53. ПУЕ-86. Правила улаштування електроустановок. – Вид. офіц. – [Б. м. : б. в.], 2017.
54. Гогіташвілі Г. Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. / Г. Г. Гогіташвілі, Є.Т. Карчевські, В. М. Лапін — К.: Знання, 2007. — 367 с.
55. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.
56. Бедрій Я. І. Охорона праці: Навч. посіб. / Я. І. Бедрій [та ін.]; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ. лісотехн. ун-т. — Л., 2000. — 280 с. — Бібліогр.: с. 277—279.

57. Пістун І. П. Охорона праці (Законодавство. Організація роботи): навчальний посібник / І. П. Пістун І. П. [та ін.] — Львів: Тріада плюс, 2010. — 648 с.

58. Батлук В. А. Основи охорони праці в підрозділах МНС України: навч. посіб. / В. А. Батлук [та ін.]; М-во освіти і науки, молоді та спорту України. — Л. : Афіша, 2011. — 505, [3] с. : іл. — Бібліогр.: с. 503—505.