

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

**Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізики металів**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВОЛОШКО

«__» _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Металофізичні процеси та їх
комп'ютерне моделювання»**

спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Формування функціональних покриттів на сталі 40Х
електроіскровим легуванням хромом та ніобієм»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ФМ-71-1

Яременко Денис Олегович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., Доцент

Іващенко Євген Вадимович _____

Консультант з нормоконтролю:

ас. Шаповалова Наталія Анатоліївна _____

Консультант з економічно-організаційної частини:

к. е. н., доцент Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:

д. т. н., професор Левченко Олег Григорович _____

Рецензент:

В.о. зав. каф. ВТМ та ПМ, д.т.м., доцент

Богомол Юрій Іванович _____

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

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВОЛОШКО

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Яременко Денису Олеговичу

1. Тема роботи «Формування функціональних покриттів на сталі 40Х електроіскровим легуванням хромом та ніобієм», керівник роботи Іващенко Євген Вадимович, Доцент, к.т.н., Доцент, затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 р. № 1355-с
2. Термін подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи літературні дані та результати особистих експериментів
4. Зміст роботи вступ, огляд літературних джерел, матеріали та методи досліджень, результати досліджень та їх обговорення, організаційно-економічна частина, охорона праці, висновки, conclusions, література
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 71 сторінок, 12 таблиць, 28 рисунки, презентація

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічно-організаційний	к. е. н., доцент Нараєвський С. В.		
Охорона праці	д. т. н., професор Левченко О. Г.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Видача завдання	12.04.2021	
	Огляд літератури	15.04.2021	
	Освоєння методик дослідження	28.04.2021	
	Виконання експериментальних досліджень	07.05.2021	
	Отримання результатів, їх аналіз	29.05.2021	
	Оформлення дипломної роботи	01.06.2021	
	Попередній захист	10.06.2021	
	Захист на засіданні ЕК	15.06.2021	

Студент

Денис ЯРЕМЕНКО

Керівник

Євген ІВАЩЕНКО

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 71с., 12 табл., 28 рис., 44 джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, ЗМІЦНЕННЯ, ЛЕГОВАНИЙ ШАР, НІОБІЙ, СТАЛЬ 40Х, ХРОМ.

Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі 40Х, отримані електроіскровим легуванням анодами хромом та ніобієм на повітрі.

Мета роботи – встановити вплив послідовності ЕІЛ хромом і ніобієм на мікроструктуру, фазовий склад і мікротвердість поверхневих шарів сталі 40Х.

Методи дослідження – гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний та рентгенофазовий. Показана можливість формування зміцнених покриттів (мікротвердістю 9,5 ГПа – 14,5 ГПа і товщиною 20 мкм – 35 мкм) електроіскровим легуванням Cr та Nb сталі 40Х при різній послідовності нанесення матеріалів анодів.

Встановлено вплив нанесення хрому та ніобію під час електроіскрового легування сталі 40Х на поверхневу мікротвердість, фазовий склад та мікроструктуру модифікованого шару.

Виявлено, що найбільшу мікротвердість (14,5 ГПа) має легований шар після ЕІЛ сталі Nb, а найбільшу товщину (35 мкм) – при пошаровому ЕІЛ у послідовності Cr- Nb.

Практичне значення: одержані в роботі результати та з'ясовані закономірності формування структури та характеристик модифікованих шарів під час електроіскрового легування можуть бути застосовані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів.

ABSTRACT

Thesis: 71 pages, 12 tables, 28 figures, 44 sources.

ELECTRO SPARK ALLOY, STRENGTHENING, ALLOY LAYER, NIOBIUM, STEEL 40X, CHROME.

The object of the study is the surface layers of 40X steel, obtained by electrospark doping with chromium and niobium anodes in air.

The aim of the work is to establish the influence of EIL chromium and niobium sequences on the microstructure, phase composition and microhardness of 40X steel surface layers.

Research methods - gravimetric, microstructural, microdurometric and X-ray phase. The possibility of forming reinforced coatings (microhardness 9.5 GPa – 14.5 GPa and thickness 20 μm – 35 μm) by electrospark alloying of Cr and Nb steel 40X with different sequence of anode materials application is shown.

The influence of chromium and niobium deposition during electrospark alloying of 40X steel on the surface microhardness, phase composition and microstructure of the modified layer was established.

It was found that the alloyed layer has the highest microhardness (14.5 GPa) after the EIL of Nb steel, and the greatest thickness (35 μm) - with layered EIL in the Cr-Nb sequence.

Practical significance: the results obtained in the work and the regularities of the formation of the structure and characteristics of the modified layers during electrospark alloying can be used to extend the service life of machine parts and mechanisms.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Загальні відомості про ЕІЛ.....	9
1.2 Суть методу електроіскрової обробки	10
1.3 Модель ЕІЛ за теорією Лазаренків.....	12
1.4 Модель ЕІЛ за А. Д. Верхотуровим	13
1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням ЕІЛ.	15
1.6 Електродні матеріали для ЕІЛ.....	166
1.7 Висновки до розділу 1.....	222
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	233
2.1 Матеріали досліджень.....	233
2.2 Електроіскрове легування	244
2.3 Методи, які були використані для дослідження	255
2.3.1 МікродюрOMETричний аналіз	255
2.3.2 Мікроструктурний аналіз	266
2.3.3 Гравіметричний аналіз.....	267
2.3.4 Рентгенофазовий аналіз	268
2.4 Висновки до розділу 2.....	299
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	30
3.1 Дослідження зразків після ЕІЛ Cr	30
3.2 Дослідження зразків після ЕІЛ Nb	33
3.3 Дослідження зразків після ЕІЛ Cr+Nb	3535
3.4 Дослідження зразків після ЕІЛ Nb+Cr	38
3.5 Висновки до розділу 3.....	40
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	2342
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	2342
4.2 Мета і завдання НДР	2443
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	2543

4.3.1	Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу	2544
4.3.2	Визначення розміру єдиного соціального внеску	46
4.3.3	Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання НДР	46
4.3.4	Інші прямі невраховані витрати	47
4.3.5	Розрахунок накладних витрат	47
4.3.6	Розробка планової калькуляції собівартості НДР	47
4.4	Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності.....	48
4.5	Висновки до розділу 4.....	52
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	53
5.1	Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві.....	53
5.2	Аналіз параметрів приміщення	54
5.3	Аналіз освітленості приміщення.....	3557
5.4	Аналіз мікроклімату приміщення	3557
5.5	Аналіз наявності шуму в приміщенні	3559
5.6	Виробниче випромінювання	3559
5.7	Запиленість та загазованість	3560
5.8	Електробезпека	3561
5.9	Пожежна безпека	3562
5.10	Висновки до розділу 5.....	3564
	ВИСНОВКИ.....	65
	CONCLUSIONS	66
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67

ВСТУП

В наш час кожна людина має усвідомлювати, що рано чи пізно певні ресурси зникнуть через активне видобування. Також наразі багато людей підіймають питання про початок екологічної катастрофи через забруднення навколишнього середовища відходами та вже відпрацьованими матеріалами які розкладаються через багато років. Саме через це усі намагаються модернізувати певні деталі у промисловості та мінімізувати витрати ресурсів. Проте характеристики при цьому мають не погіршуватися, а лише покращуватися. Тому завдяки матеріалознавству є можливість вирішити ці нагальні питання. Кожна деталь має свій строк служби. Головна мета - знайти такий метод для створення нових покриттів на матеріалах, який зможе дати більше часу на роботу механізмів та деталей та менше забруднювати навколишнє середовище.

Як правило усі найважливіші деталі знаходяться в місцях з підвищеним ризиком швидкого зношування та деформації. А через це, такі деталі необхідно частіше замінювати для безперервної та якісної роботи машини чи механізму. Саме тому намагаються створити не лише більш екологічну деталь, а й ще з більшим строком служби.

Це питання вже давно допомагає вирішити метод обробки сталей та сплавів електроіскровим легуванням. Метод ЕІЛ робить на поверхні деталі шари підвищеної міцності, що в свою чергу подовжує термін роботи та покращує характеристики деталі. Цей метод базується на явищі електричної ерозії. Коли пропускається іскровий розряд починається перенесення продуктів ерозії з легуючого електроду на деталь, що в свою чергу призводить до утворення модифікованого поверхневого шару.

У цьому звіті показано який вплив відбувається завдяки хрому і ніобію при окремому нанесенню їх при ЕІЛ на сталь 40Х.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

В наш час певні фізичні та механічні процеси спричиняють зношення певних деталей. Так в машинах за короткий проміжок часу доводиться замінювати поверхню циліндру двигуна зовнішнього згорання, колінчаті вали двигунів, різні шестерні та інше. Ці деталі працюють при високих швидкостях, а отже вони можуть дуже нагріватися та піддаватися впливу корозії. А їх поверхні мають витримувати більше стійкість до тертя та інших властивостей за усю деталь.

На разі використовується багато різних методів для досягнення результату по збільшенню витривалості та стійкості поверхні деталі. Розберемо метод електроіскрового легування, який ефективно змінює характеристики поверхні деталі чи її всю взагалі. Почнемо з того, що цей метод досить економічно використовує матеріали і дійсно може збільшити строк служби деталі завдяки хімічних та фізичних змінах поверхні. Саме цей метод може збільшити стійкість до корозії та підвищити жорсткість з твердістю робочої поверхні деталі. Також цей метод дозволяє знизити коефіцієнт тертя і що важливо, може відновити певну деталь, а отже провести її ремонт.

1.1 Загальні відомості про ЕІЛ

В 1950-му році був винайдений та зроблений новітній спосіб по обробці металу, сплаву та інших матеріалів. Борис Романович та Наталія Йосифівна Лазаренки були радянськими ученими, які знайшли спосіб обробляти ті матеріали, які проводять струм. Цей спосіб називається електроіскрове легування або ЕІЛ [1].

Даний метод виходить з явища про електричну ерозію коли виникають імпульсні розряди у газовому середовищі при переміщенні матеріалу анода на поверхню катода [2].

У цього метода є переваги. І мабуть основа – це точкова обробка поверхні. Тобто є можливість легувати поверхню саме в тому місці, де необхідно прицизійно обробити(локально). Також в цьому методі не потрібно спеціально робити підготовку до обробки деталі. Так як обробка точкова, то вся деталь не піддається високій температурі. І є величезний вибір анодів та катодів, тобто легуючих матеріалів з деталями для обробки. Ще є велика перевага цього методу при транспортуванні в різні лабораторії, бо уся установка займає досить мало місця, що зручно в використанні.

За допомогою електроіскрового легування можна:

- відремонтувати зношену деталь та повернути її початкову геометричну форму;
- провести зміцнення верхнього шару деталі;
- покращити хімічний склад поверхні катоду та модифікувати фазовий склад [3, 4, 5].

1.2 Суть методу електроіскрової обробки

Головне для успішного результату після обробки ЕІЛ вибрати доречний анод за його фізичними і хімічними властивостями, ерозійною стійкістю та (для конкретних характеристик майбутньої поверхні)параметр обробки.

Досягнення позитивних наслідків при обробці ЕІЛ залежить лише від доцільного вибору правильного анода з урахуванням його хімічно-фізичних властивостей, корозійної стійкості і параметрів обробки, які дійсно мають суттєвий вплив на певні характеристики майбутнього та модифікованого шару.

Метод ЕІЛ дає змогу провести на поверхні, якій необхідна обробка, замінити певні властивості, а саме: підвищити корозійну стійкість, зносо- та жаростійкість, твердість необхідних деталей машин та механізмів в результаті формування необхідних хімічних сполук і шарів із необхідною нам шорсткістю [6].

Головна мета електроіскрового легування полягає в розумінні впливу імпульсного електричного розряду на електропровідні матеріали відповідно анода та катода. У ході процесу утворюється необхідний електричний розряд, який формує біля поверхні катода видозмінені шари. Такі шари з'являються тільки внаслідок чіткої дії імпульсів і теплових фізичних навантажень на область розряду. Під дією цих теплових навантажень біля поверхні анода проходить ряд певних некерованих процесів таких як: дифузні, термомеханічні, мікрометалургійні та інші. Такі процеси мають стимулювати перемішування матеріалів катода та анода, що підтримує чітке утворення більш високої зчеплюваності необхідного модифікованого шару утвореного біля основи. Спосіб формування поверхні після легування визначається складом, структурою, властивостями матеріалів з яких зроблені аноди та технічними характеристиками нашого процесу електроіскрового легування [7].

На рис. 1.1 показана загальна схема ЕІЛ.

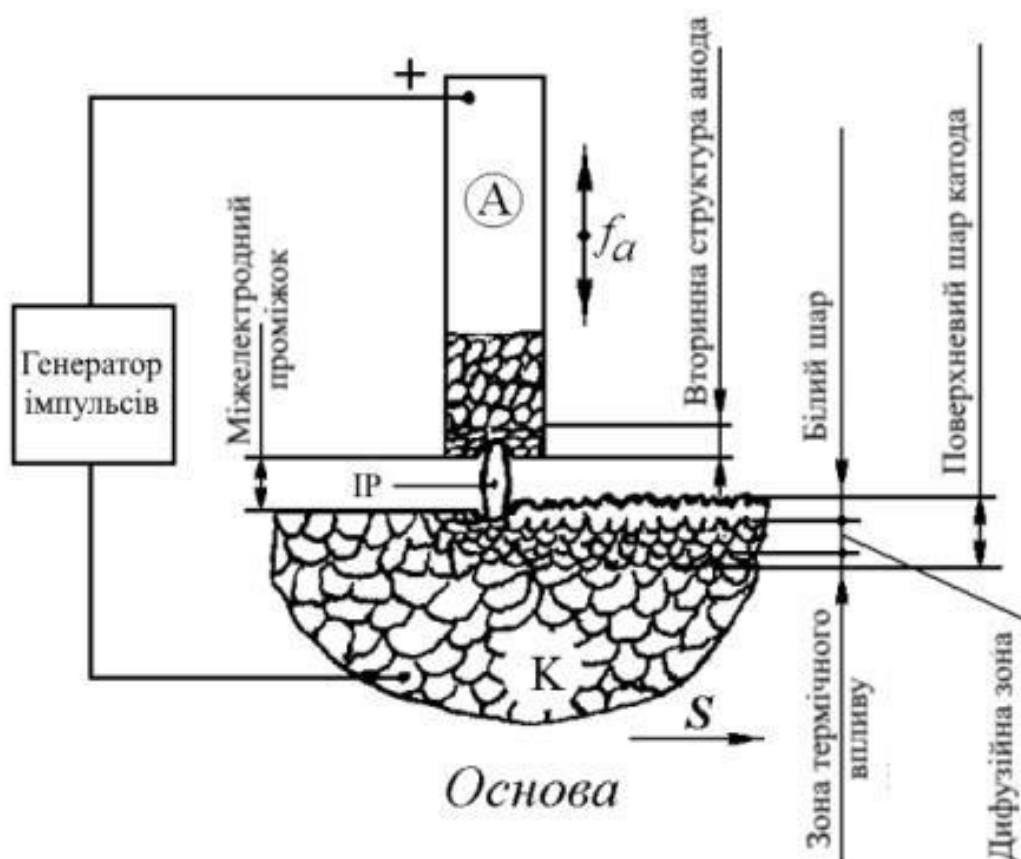


Рисунок 1.1 – Схема загального процесу ЕІЛ [8]

Коли обрані електроди зближуються, то відразу відбувається зростання напруження електричного поля та при певній малій відстані стає більш ніж достатнім для правильного іскровий електричний розряд утворюється (IP).

Внаслідок виникнення іскрового розряду шляхом появи енергії (яка з'являється від генератора імпульсів) на поверхні утворюються та зростають осередки випаровування та плавлення, які в свою чергу спричиняють тонку електричну ерозію на матеріалі електроду.

В той час як потік електронів попадає на верхню частину анода, на якому вже виділяється значна кількість енергії, потік сприяє суттєвій ерозії цього анода [7]. Вилучені частинки потрапляють на розплавлену верхівку катода і дифундують в глибину матеріалу. Такий процес замінює приповерхневу зону у катода.

В такий спосіб на оброблюваній деталі утворюється змінений шар з новими властивостями та структурою. Використання різних типів анодів в залежності від їх властивостей і фазового стану його компонентів ЕІЛ, а також у залежності від певної температури дозволяє керувати процесом легування на першому етапі встановлення необхідних технічних параметрів ЕІЛ, які у свою чергу дають можливість сформувати приповерхневі шари із заданими характеристиками [8].

1.3 Модель ЕІЛ за теорією Лазаренків

Раніше було зазначено, що зменшення відстані яка є між анодом та катодом спричиняє суттєвий зріст напруженості електричного поля поміж ними. Завдяки пучка сфокусованого і чіткого потоку електронів необхідна енергія передається на поверхневі шари. Така енергія використовується для місцевого нагрівання матеріалу анода, а також на часткове плавлення і випаровування. Розплавлений метал відштовхується від аноду та опиняється на катоді. Знаходячись в полі значної електричної напруженості, мала крапля розплаву продовжує суттєво нагріватися. В певний момент вона досягає найвищої температури та вибухає, що

є завершальним етапом дії електричного поля. Після вибуху на катоді з'являються частинки анода. Вони приходять на поверхню катода і зварюються з ним та частково можуть дифундувати в його поверхню. Наступним кроком відбувається удар анода об поверхню катода. А катод вже містить частинки розплаву. Як результаті цієї дії утворюється перемішування і гомогенізація верхнього легованого шару.

Такий процес електроіскрового легування є при значних напругах. Для більш меншої напруги пробій утворюється майже при самому контакті анода з верхівкою катода. Також доречно сказати, що масоперенесення може бути зворотнім під час ЕІЛ. Якщо таке відбувається, то із поверхні катода відскакує частина матеріалу яка в свою чергу переноситься на анод. І вже біля поверхні зразка (катода) у такому випадку має змогу зробитися кратер.

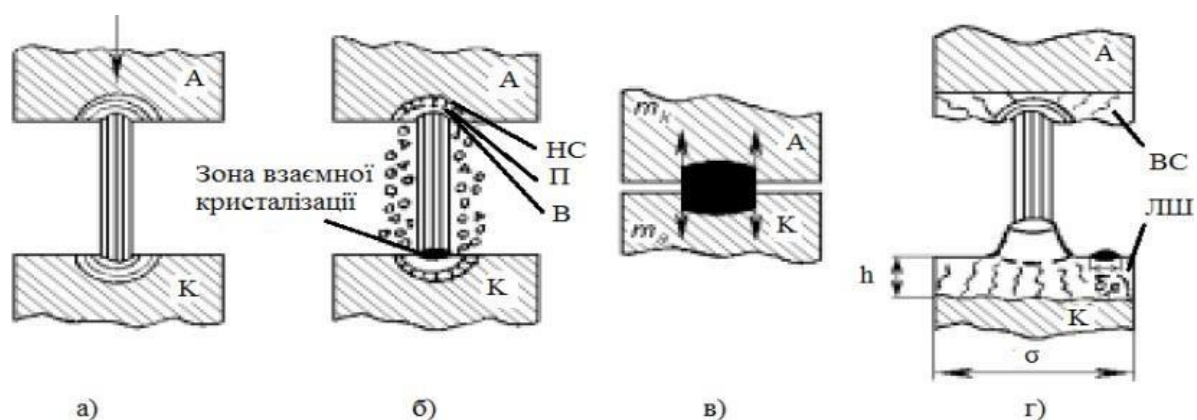
Так як запропонована Лазаренками така модель процесу ЕІЛ стала першою, то вона має певні неточності і звісно потребує в доповненнях [9, 10].

1.4 Модель ЕІЛ за А. Д. Верхотуровим

Попередня модель дозволяла не звертати уваги поверхневим явищам і процеси, які відбуваються на електродах. Спільна модель процесу ЕІЛ А. Д. Верхотурова [11] прийняла в себе багато факторів, такі як: руйнування електродів у рідкій, твердій та паровій фазах, зварювання обраних електродів саме під час певного контакту, перекристалізацію матеріалів які присутні на катоді, в зоні конкретної дії іскри, а також перервний характер утворення обраного легованого шару та обмеження товщини легованого шару.

Створення на електродах лунок з ерозією є наслідком крапкової дії струму, яка призводить до сильного нагрівання анода та важливого магнітного поля, яке у свою чергу сприяє утворенню значного тиску в самому тунелі розряду. Як результат цієї дії отримуємо появу об'ємних частин теплових джерел. Саме Верхотуров поділяє певну ерозійну лунку на три конкретні зони: плавлення,

випаровування і напруженого стану. Уявне зображення узагальненої та спільної моделі ЕІЛ зображено на рис. 1.2.



а – пробій міжелектродного проміжку; б – утворення ерозійних лунок на електродах (на аноді А та катоді К); в – момент контакту електродів;
г – утворення легованого шару (ЛШ) на катоді

Рисунок 1.2 – Узагальнена схема моделі ЕІЛ [12]

Також можна сказати, що розмір двох перших зон буде залежати лише від температури кипіння ($T_{\text{кип}}$) і плавлення ($T_{\text{пл}}$). А ще від точного коефіцієнта теплопровідності (λ). Отже, чим більші $T_{\text{кип}}$, $T_{\text{пл}}$ та λ – то тим менша буде відповідно зона кипіння і плавлення. Полярне перенесення такого матеріалу анода безпосередньо на катод буде давати змогу відтворювати на верхівці катода змінені шари, а вони з'являються лише при взаємодії не лише електродів між собою, а й самого середовища з електродами.

Верхотуров також недосконало зобразив свою модель. Вона не описує конкретного зв'язку саме між мікротвердістю отриманого нами шару і безпосередньо мікротвердістю анода, а ще не пов'язує такі характеристики напряму з жаростійкістю. Не дивлячись на це така модель допомогла керувати властивостями покриття конкретно через правильний підбір фізико-механічних характеристик обраних анодів.

1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням ЕІЛ

Для того аби покращити характеристики робочих ззовні деталей, тобто: підвищити корозійну стійкість, зносостійкість та гарну міцність, використовують різні способи нанесення укріплюючих та захисних покриттів [13]. Такий метод електроіскрового легування дійсно дає змогу зробити покриття на металевих виробках, але різноманітними та струмопровідними матеріалами.

Після ЕІЛ деталь підлягаюча обробці починає змінювати свій рельєф, розмір, а також фізичні, механічних, хімічних властивостей поверхневого шару деталі. У вже змінених шарах утворюються карбіди, інтерметаліди, нітриди, оксиди, дрібно-кристалічної структури. В результаті такого значно збільшується поверхнева твердість.

Є важлива характеристика такого процесу. Це потужність формування верхнього шару при ЕІЛ і його отримана товщина. Автори роботи стверджують [14]: «Структура та властивості покриття є відображенням умов, в яких відбувалося його формування». Таким чином, при прицільному аналізі методу електроіскрового легування ми можемо побачити прямо пропорційну залежність між товщиною нанесеного шару і його шорсткості на пряму від енергії розряду. Іншими словами, чим менша буде використана нами енергія, тим менший утвориться шар покриття з ще меншою шорсткістю, який буде формуватися біля поверхні основи. Саме тому для коректного одержання якісних покриттів при достатній товщині використовується не один старанно та чітко підібрані аноди і саме середовище легування необхідного [15]. В роботі [16] можна знайти суцільний вплив насичуючого необхідного середовища та матеріалу з якого зроблен сам анод на формування видозміненого шару на його конкретну зносостійкість, мікротвердість, структуру і фазовий склад.

При більш детальному розгляді [17], можна відмітити істотний вплив так званої хіміко-термічної обробки (ХТО) конкретно на поверхневу твердість матеріалів.

Так як на конкретно тему впливу певного середовища легування не достатньої кількості проведених досліджень, немає можливості описати конкретну картину впливу легувального та обробленого середовища на характеристики модифікованого отриманого шару.

1.6 Електродні матеріали для ЕІЛ

Сталь 40X має широкий спектр використання на виробництві для робочих деталей турбін, автомобілів і різного іншого транспорту. Також можна сказати про широке застосування сортового прокату, також і фасонний, напівфабрикати, листовий прокат, поковки. А ще сталь 40X застосовують при отриманні болтів. Ця продукція вдало підходить для реального вживання не лише у промисловості, а при вирішенні певних побутових завдань також. Такі болти мають досить широкий асортимент і звісно дуже високий клас їх міцності.

Необхідно сказати також про недоліки виробів з сталі 40X. В них недостатня корозійна стійкість яка утворюється до агресивних середовищ і до значних температур. Обрана сталь потребує додаткової обробки до і після зварювання, бо зварювальний шов виходить основною причиною щодо утворення тріщини в обраному матеріалі.

Необхідні пари електродів обрали так, що саме під час ЕІЛ матеріали обраних анодів, що складають з себе перехідні метали, змогли сформувати з матеріалом вибраним у якості основи різноманітні типи твердих розчинів, карбідів, нітридів, інтерметалідів та інших.

В якості анода лише для електроіскрового легування ми обрали ніобій. Цей метал є одним з дійсно найбільш тугоплавких матеріалів, саме тому його застосування необхідне у сфері, яка пов'язана з високими температурними впливами на матеріал. Ніобій являє собою основу твердих та багатьох інших жаростійких сплавів, часто може входити у склад зносостійких та інструментальних сталей.

Зовсім різні сполуки у цього металу знаходять досить широкий спектр по застосуванню [18].

Так як нанесення матеріалу завдяки анодом з ніобію на сталь 40Х, яка вміщує приблизно 97 % Fe, то дійсно доцільним буде зараз навести та описати діаграму стану яка складається з ніобію та заліза (рис. 1.3).

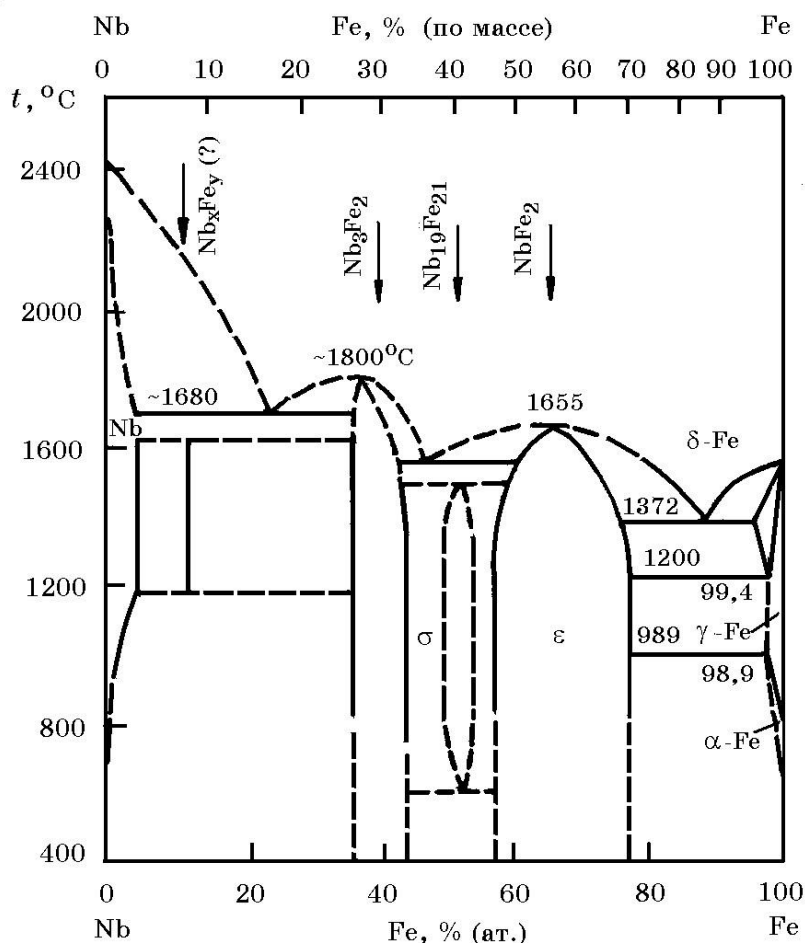


Рисунок 1.3 – Діаграма стану Nb-Fe [19]

Ніобій з залізом разом створює безперервні рідкі розчини, бачимо в твердому стані чітке з'єднання Nb_3Fe_2 ($t_{\text{пл}} = 1800$ °C), $\text{Nb}_{19}\text{Fe}_{21}$ ($t_{\text{разл}} = 1500$ °C), NbFe_2 ($t_{\text{пл}} = 1655$ °C). Сплави нахталт ферроніобія з (50-70) % (Nb + Ta) будуть мати температуру плавлення (ликвідуса) (1620-1580) °C. Теплота утворення NbFe_2 дорівнює $\Delta H_{298}^0 = 61,45$ Дж/моль. В бінарній системі Nb-Fe є три евтектики [19]. Високотемпературні модифікації, які виникають за температур вище 2000 °C, не доступні для метода ЕІЛ, тому в даній роботі вони не важливі.

Завдяки характеристикам ніобію та його карбідів раціональним буде його застосування при ЕІЛ для збільшення твердості, жаростійкості та зносостійкості.

Далі розглянемо діаграму ніобій-вуглець (рис. 1.4) [23].

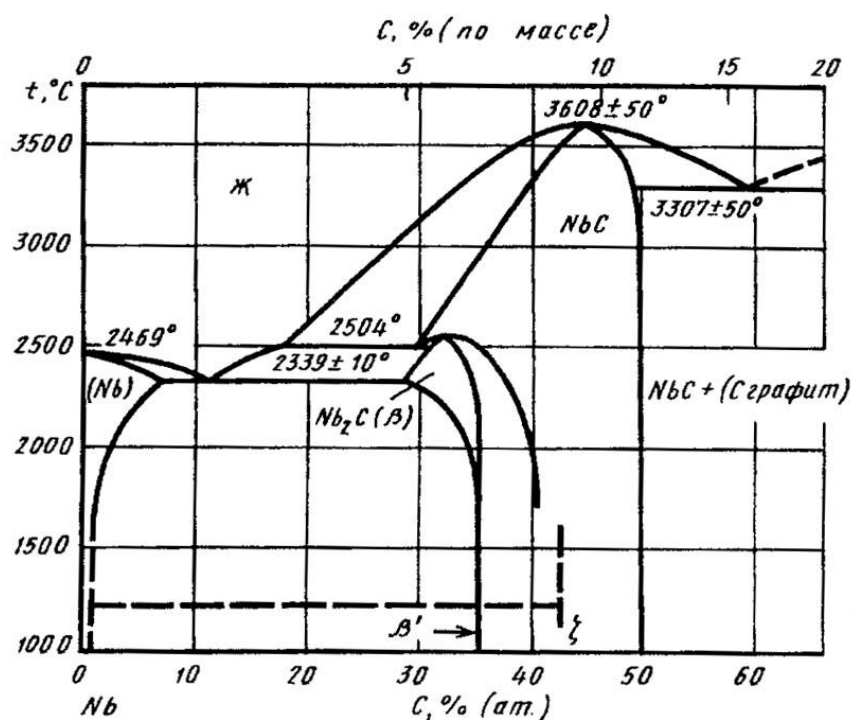


Рисунок 1.4 – Діаграма стану С - Nb [23]

Система характеризується наявністю твердого розчину на основі Nb, двох стабільних проміжних фаз Nb_2C і NbC . У роботі вказується на існування в системі С-Nb метастабільною карбідної фази Nb_3C_2 . Карбід NbC плавиться когерентно при утриманні 46,2 ат.% С і температурі $(3608 \pm 50) ^\circ\text{C}$. Широка область гомогенності NbC звужується при зниженні температури і знаходиться в інтервалі концентрацій (37-49) ат.% С при температурах $<3000 ^\circ\text{C}$, (41-47) ат.% С при температурах $(1600-2500) ^\circ\text{C}$ [24]. Карбід NbC має кубічну структуру типу NaCl (символ Пірсона cFS, пр. Гр. Fmbm). Зі збільшенням вмісту С параметр решітки a змінюється від 0,44317 нм до 0,44690 нм. Карбід Nb_2C утворюється в результаті перекристалізації $\text{NbC} - \text{Nb}_2\text{C}$ при температурі $-2500 ^\circ\text{C}$. За даними більшості дослідників карбід Nb_2C утворюється по перитектичній реакції $\text{Ж} + \text{NbC} \leftrightarrow \text{Nb}_2\text{C}$ при утриманні 34,5 ат.% С і температурі $(3035 \pm 20) ^\circ\text{C}$. Область гомогенності Nb_2C при температурі $2000 ^\circ\text{C}$ становить (30,7-32,4) ат.% С. З'єднання Nb_2C існує

в трьох модифікаціях α , β , γ . α - Nb_2C має впорядковану ромбічну структуру і стабільно при температурі до 1200°C , β - Nb_2C - впорядковану гексагональну структуру і існує в інтервалі температур $(1200-2500)^\circ\text{C}$, γ - Nb_2C - неупорядкованих гексагональну структуру і існує при температурах вище 2500°C . Параметри решітки β - Nb_2C : $a = (0,3120- 0,3128)$ нм, $c = (0,4957-0,4974)$ нм і $a = (0,3117 - 0,3127)$ нм, $c = (0,4956 - 0,4974)$ нм при 2000°C .

Для більш точного розуміння також розглянемо діаграму ніобій-хром (рис. 1.5) [25].

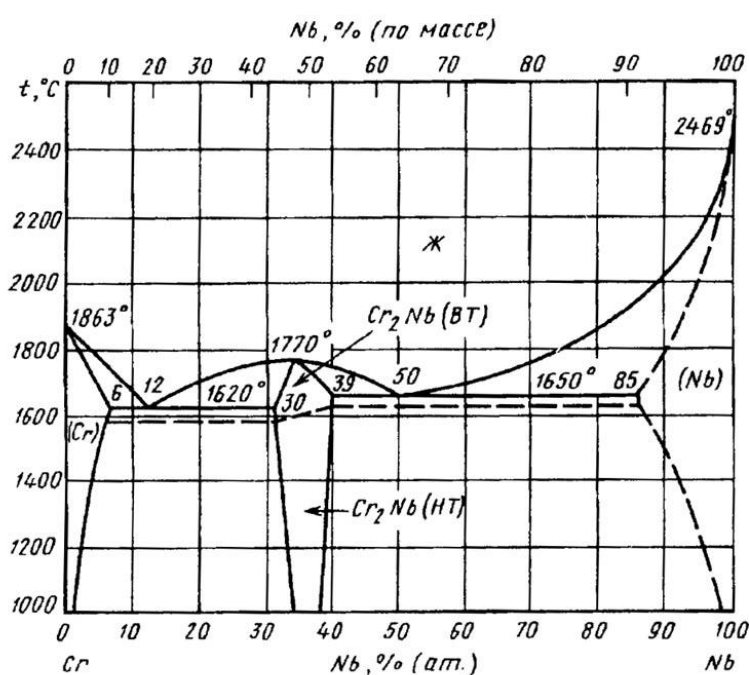


Рисунок 1.5 – Діаграма стану Cr - Nb [25]

В системі утворюються одна проміжна фаза Cr_2Nb та тверді розчини (Cr) та (Nb). З'єднання Cr_2Nb плавиться когерентно та має широку область гомогенності (30-39) ат.% Nb. Температура плавлення Cr_2Nb , по різним даним складає 1683°C . З'єднання Cr_2Nb має дві алотропні модифікації. Температура переходу між високотемпературною (BT) та низькотемпературною (HT) формами збільшується від 1585°C до 1625°C для Cr і Nb сплавів відповідно. У системі кристалізуються дві евтектики: $\text{Ж} \leftrightarrow (\text{Cr}) + \text{Cr}_2\text{Nb}$ та $\text{Ж} \leftrightarrow \text{Cr}_2\text{Nb} + (\text{Nb})$. Розчинність Nb в Cr складає 6 ат.% при евтектичній температурі та 1 ат.% при 1000°C . Розчинність Cr в Nb

при евтектичній температурі дорівнює 15 ат.% та знижується до $\sim(2-3)$ ат.% при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наступним анодом для досліджень обрано хром – тугоплавкий, твердий метал (9 за шкалою Мооса) із суттєвою корозійною стійкістю, що й зробило цей метал дуже популярним у промисловості [25].

Карбіди Cr створюють сприятливі умови зростанню зносостійкості.

Так як під час ЕІЛ є вірогідність формування карбідів, нижче приведено діаграму стану хром-графіт (рис. 1.6) [27].

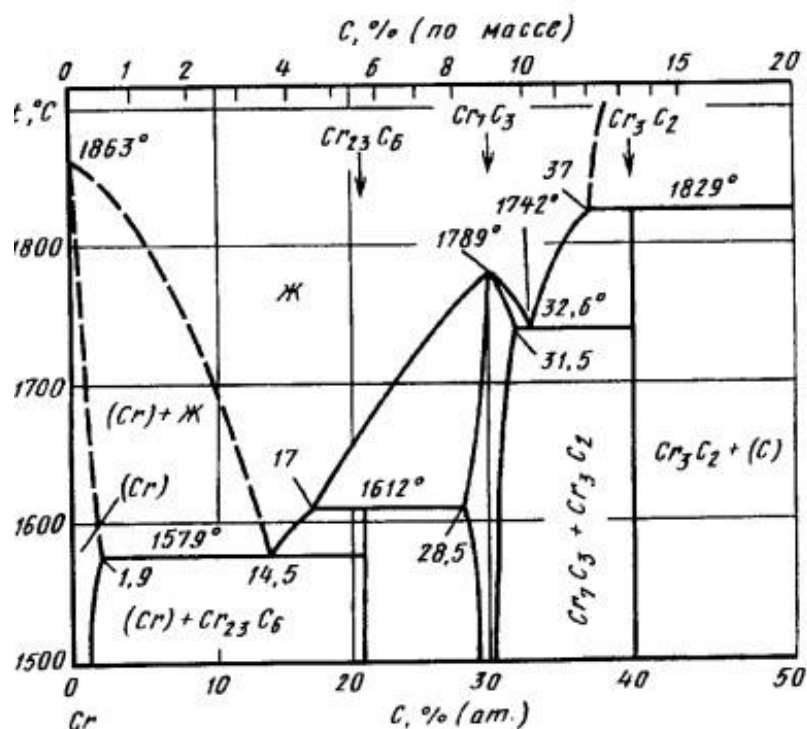


Рисунок 1.6 – Діаграма стану системи Cr - C [27]

Карбід Cr_7C_3 кристалізується когерентно за температури $1789\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при вмісті графіту 30 ат.%. Область гомогенності Cr_7C_3 від 28,5 ат.% до 31,5 ат.% графіту (C). Найбільша розчинність C в Cr становить 1,9 ат.% або 0,45 мас.%.

Якщо система піддається надшвидкому охолодженню, в ній з'являється метастабільний карбід Cr_3C [28].

Хром часто застосовують в електроіскровій обробці як анод для збільшення зносостійкості, надання стійкості робочим поверхням деталей та підвищення корозійної стійкості на модифікованій поверхні. Як катод застосовують сталі зі

збільшеним вмістом хрому. Необмежена розчинність хрому в залізі дає змогу створювати протяжні леговані шари на поверхні матеріалу основи сталі [29].

Через те, що матеріал основи є сталь з високим вмістом заліза, доцільно навести діаграму стану, яка ілюструє процеси при ЕІЛ (рис. 1.7) [30].

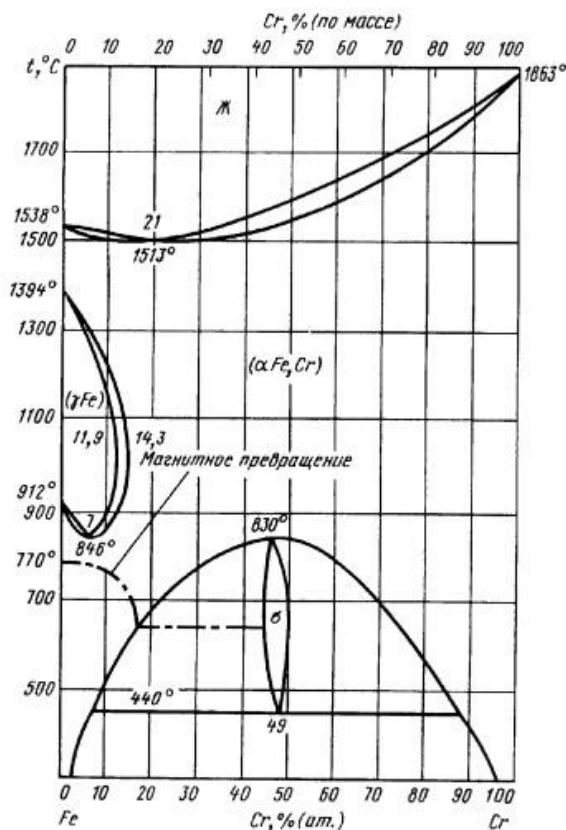


Рисунок 1.7 – Діаграма стану системи Fe - Cr [30]

Cr і Fe формують неперервні ряди твердих розчинів у рідкому та у твердому станах. На лініях ліквідуса та солідуса присутній мінімум за температури 1513 °C та при вмісті Cr приблизно 21 ат.%. У твердому стані в системі спостерігаються такі фази: проміжна фаза σ (FeCr), неперервна область твердих розчинів α -Fe і Cr (α -Fe, Cr) та обмежена область твердого розчину на основі γ -Fe. Найбільша розчинність Cr в γ -Fe становить 11,9 ат.%. Межа двофазної області між γ -Fe і (α -Fe, Cr) є найменшою при вмісті Cr 7 ат.% та температурі 830 °C.

При вмісті хрому від 48 ат.% до 49 ат.% та температурі нижче 815 °C – 830 °C з (α -Fe, Cr) утворюється фаза σ , яка розпадається при температурі 440 °C – 520 °C по евктикоїдній реакції на тверді розчині.

Оскільки під час багат шарового нанесення покриття методом ЕІЛ на матеріал основи здійснюється перемішування компонентів анода не тільки з поверхневим шаром матриці, а й з уже нанесеним змінним шаром, то здійснюється повторна модифікація складу та характеристик сформованого покриття.

Завдяки формуванню неперервного ряду твердих розчинів Cr та Nb можна очікувати певного росту мікротвердості.

1.7 Висновки до розділу 1

Після розглянутих літературних джерел є можливість побачити певний висновок про справжню ефективність роботи з методом ЕІЛ. Отже, інформація про хімічний склад, вплив та певні характеристики на структуру 40Х сталі після обробки її іншими матеріалами відсутня. Що і актуальним на сьогоднішній день.

Основна мета проведення таких опитів полягає у легуванні обраної сталі ніобієм. Через що є змога утворюватися дисперсні карбіди ніобію, а вони вже можуть підвищувати твердість і звісно зносостійкість. Такий висновок доводиться дослідженнями, що розглядаються окремо [19, 31, 32].

Так як присутня необмежена розчинність в залізі хрому, то і легування хромом допомагає віднайти твердий розчин в самому залізі. Також слід згадати, що при реакції з вуглецем можуть утворитися дисперсні карбіди через хром. Вони у свою чергу відмінні від інших карбідів ніобію. Тобто мають зовсім інші властивості: крихкість, розмір твердість, частинок.

Такий розчин хрому, який є твердим, в самому залізі відносно м'який і пластичний являє собою матрицю. Саме в ній утворюється дисперсна реакція карбіду хрому і іншого анода – ніобію. Принцип Шарпі підтверджує це [33].

Отже, обробка такого типу формує поверхню обраної сталі методом ЕІЛ. Такий шар з модифікаціями має підвищену міцність, що і необхідно було знайти.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали досліджень

Для виробництва деталей підвищеної міцності, таких як осі, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, колінчаті й кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, губчасті вінці, болти, пів-осі, втулки та інші, використовують конструкційну сталь, леговану хромом [34]. Для збільшення міцності робочі поверхні таких деталей модифікують.

В якості катоду було обрано сталь 40Х, яка завдяки своїм фізико-хімічним властивостям може бути використана як:

- корозійностійкий матеріал з високою твердістю;
- деталі машин, які у процесі експлуатації часто зазнають ударні навантаження [35];
- сортовий прокат, у тому числі фасонний, напівфабрикати, поковки, листовий прокат;
- заготовки дисків парових турбін з робочою температурою до 350 °С [36].

Хімічний склад сталі 40Х наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад у відсотках [34]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3

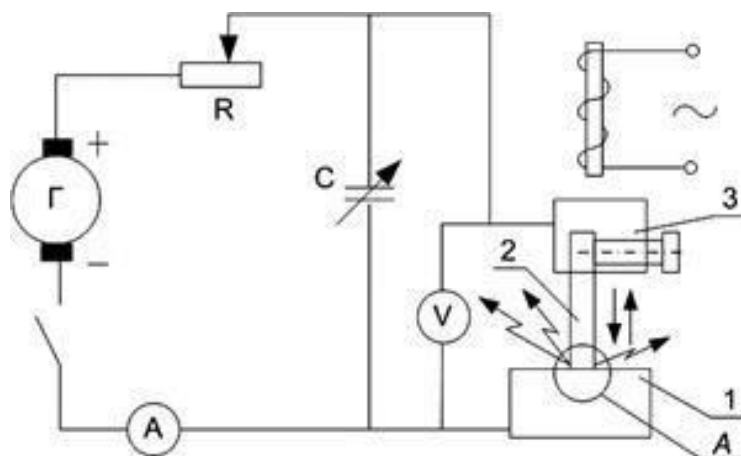
Дослідження в даній роботі має на меті утворення міцного, зносостійкого покриття з сильною адгезією до матриці основи з можливістю застосування на робочих поверхнях деталей машин. Наприклад, для промислових виробництв турбін, автомобілів тощо.

Для досягнення поставленої мети було досліджено 2 зразка з окремим нанесенням хрому та ніобію методом електроіскрового легування на матеріал основи сталь 40Х.

Одним з матеріалів, що використовувався в якості аноду при нанесенні, було обрано хром – тугоплавкий метал, що має високу корозійну стійкість. Іншим матеріалом було ніобій – тугоплавкий матеріал який зберігає міцність при високих температурах.

2.2 Електроіскрове легування

Для отримання покриттів зі зміненими властивостями методом електроіскрового легування на матеріалі основи була використана установка «ЭЛИТРОН-26А». Схема даної установки наведена на рис. 2.1.



1 – деталь (катод); 2 – електрод (анод); 3 – анодний тримач

Рисунок 2.1 – Принципова схема електроіскрової установки [37]

Основним принципом дії установки є генерування електроіскрових розрядів між двома електродами, катодом – оброблюваною деталлю, та анодом – матеріалом, яким оброблюється катод.

У даній роботі процес ЕІЛ проводився лише на повітрі.

Обробка була проведена в одному режимі, при силі струму 2 А та напрузі 60 В - 70 В. Кожна з поверхонь оброблювалась 3 хвилини кожним анодом.

2.3 Методи, які були використані для дослідження

Щоб найбільш якісно проаналізувати результати експериментів, одного методу було недостатньо. Тому в даній роботі було використано два методи, що дало змогу всебічно розглянути отримані експериментальні дані та зробити висновки стосовно можливої сфери використання зазначених схем обробки.

Отже, були використані наступні методи:

- мікродюрOMETричний аналіз;
- мікроструктурний аналіз.

2.3.1 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість обробленої поверхні замірювалась на протравлених зразках за допомогою приладу ПМТ-3М (рис. 2.2).

Принцип дії зазначеного приладу заснований на методі визначення мікротвердості за Віккерсом [38].



Рисунок 2.2 – Мікротвердомір ПМТ-3М [38]

Мікротвердість зразка визначалася шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з двогранним кутом при вершині 136° при навантаженні 20 г та 50 г протягом інтервалу від 7 секунд до 10 секунд.

Мікротвердість у ГПа вираховували за величиною діагоналі, користуючись формулою:

$$H_\mu = \frac{18,2 \times P}{(0,31 \times z)^2} [\text{ГПа}] = \frac{1,854 \times P}{d^2} \left[\frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{мм}^2} \right], \quad (2.1)$$

$$H_\mu = \frac{1,854 \times P}{d_{\text{cp}}^2}, \quad (2.2)$$

де H_μ – значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор;

d_{cp} – середнє значення діагоналей d_1 і d_2 , яке розраховується за формулою:

$$d_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_{i1} + d_{i2})}{2 \times n}, \quad (2.3)$$

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

2.3.2 Мікроструктурний аналіз

Для проведення експериментів з визначення мікроструктури за допомогою оптичної мікроскопії використовувалися зразки металографічних поперечних шліфів. Щоб якісно підготувати поперечні шліфи, потрібно зафіксувати оброблений зразок. Для цього була застосована струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару. Шліфування проводилося з використанням абразивного паперу різної шорсткості з поступовим зменшенням абразивних часток. Дзеркальна поверхня формувалася за допомогою полірувальної пасти ДОО (оксид хрому III) з наступним переходом на шліфування водою.

Отримана поверхня шліфу протравлювалася 20 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Для наступного металографічного аналізу було проведено фотографування шліфів мікроструктури на оптичному мікроскопі МЕТАМ РВ-21 (рис. 2.3) при збільшенні від 100 разів до 400 разів.



Рисунок 2.3 – Металографічний мікроскоп МЕТАМ з верхнім розташуванням предметного столику [39]

Для отримання фото поверхні було використано фото-насадку та програму, яка передає зображення на комп'ютер.

2.3.3 Гравіметричний аналіз

Цей аналіз базується на взважуванні певного зразка. Тобто катода і анода через чіткий певний час. Це допомагає зафіксувати конкретно фактично масоперенесення. В цій роботі замірювалося кожні 30 секунд, для коректного зважування використовувалися ваги AXIS AD50. Точність яких близька 0,0001г.

Змінення маси катода і анода розраховувалися так:

$$\Delta m^3_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.4)$$

$$\Delta m^3_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.5)$$

де Δm^3_k – зміна маси катода, t_0 – час початку обробки;

t_n – час n-го вимірювання маси зразка;

Δm_a^3 – зміна маси аноду.

Анодна ерозія і приріст маси у катода розраховувалися так:

$$\Delta m_a^e(t) = m_a(t_n) - m_a(t_{n-1}), \quad (2.6)$$

$$\Delta m_k^p(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.7)$$

де Δm_a^e – ерозія аноду;

Δm_k^p – приріст маси катода;

t_n – час n-го вимірювання маси зразка;

t_{n+1} – час попереднього вимірювання маси зразка.

2.3.4 Рентгенофазовий аналіз

У цій роботі було застосовано такий дифрактометр, як Ultima IV від Rigaku для рентгенографічних досліджень.

Rigaku Ultima IV може розв'язати такі задачі:

- фазовий аналіз різних матеріалів;
- кристалічні структури;
- розмір кристалітів;
- кількісний аналіз;
- переважні орієнтації;
- досконалість кристалічної структури;
- орієнтація та структура тонких плівок;
- багат шарові структури;
- ступінь кристалізації функція;
- радіального розподілу;
- розподіл розмірів наночастинок і пор;
- залишкові напруги.

Ultima IV лише один на даний момент дифрактометр в якого повністю автоматизовані процеси абсолютно всієї системи. Фіксація зйомок відбувалася на монохроматизованому мідному випроміненні та використовувалася напруга в 30 кВ зі струмом 30 мА.

Утворення сканування в взаємоперпендикулярних двох площин без ніякої необхідності зміни структури системи являє собою унікальний випадок в дифрактометрії тонких плівок і не тільки. При вдалому використанні in-plane геометрії є змога провести аналізи тонких плівок товщиною всього до 1 нм. У такій геометрії є можливість визначати чіткі параметри решітки у певній площині зразка. Також побачити орієнтаційні відношення у самій системі підложка/плівка. А наразі немає можливості відтворити це користуючись класичною геометрією.

2.4 Висновки до розділу 2

Для вирішення задач переддипломної практики застосовано електроіскрове легування сплаву сталь 40Х анодами Cr та Nb без захисного середовища на повітрі.

Було аргументовано вибір вихідних матеріалів (легувальних електродів) для дослідження.

Було відібрано та представлено використану методику дослідження, що дає змогу одержати дані для аналізу результатів ЕІЛ.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

В роботі досліджено вплив послідовності ЕІЛ хромом і ніобієм на мікроструктуру, фазовий склад, і мікротвердість поверхневих шарів сталі 40Х.

Обробка зразків з обраної сталі здійснювалася на повітрі при таких умовах: струм 1,5 А і напруга 60 В. Легування окремим анодом тривало впродовж двох хвилин (площа зразка складала 0,7 см²).

3.1 Дослідження зразків після ЕІЛ Cr

Гравіметричний аналіз дав змогу побачити зміну маси катода та анода (рис. 3.1).

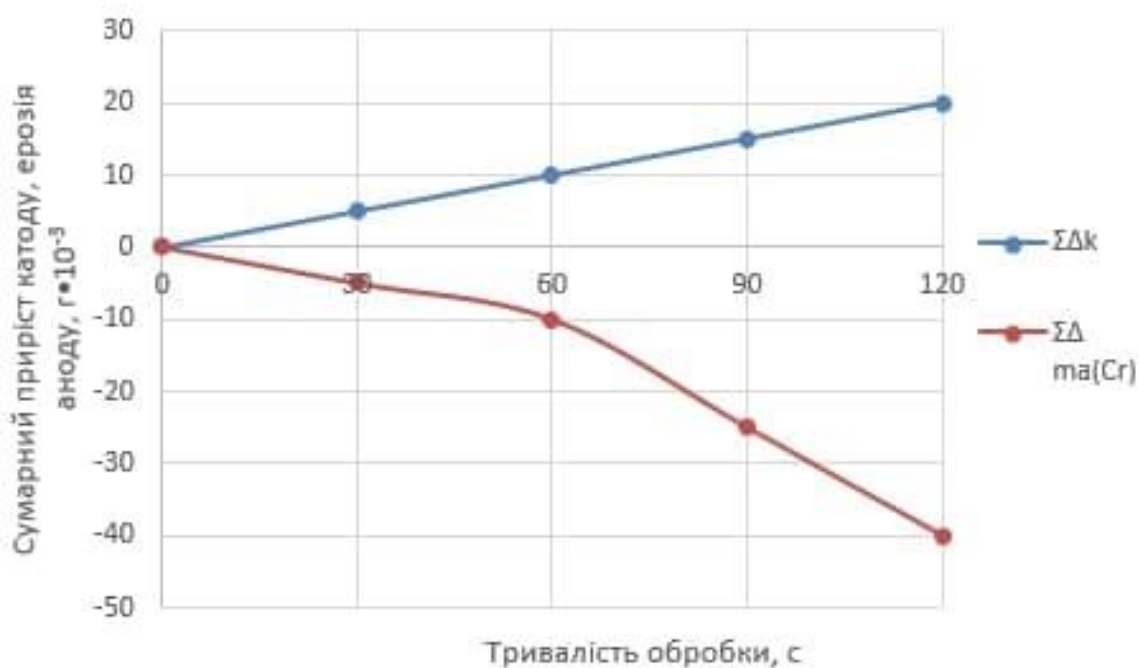


Рисунок 3.1 – Зміна маси катода та анода після ЕІЛ Cr

Отримані результати для мікроструктурного аналізу після ЕІЛ на повітрі анодом з хрому для сталі 40Х показали, що товщина поверхневого легованого шару обраного зразка складає до 32 мкм (рис. 3.2).

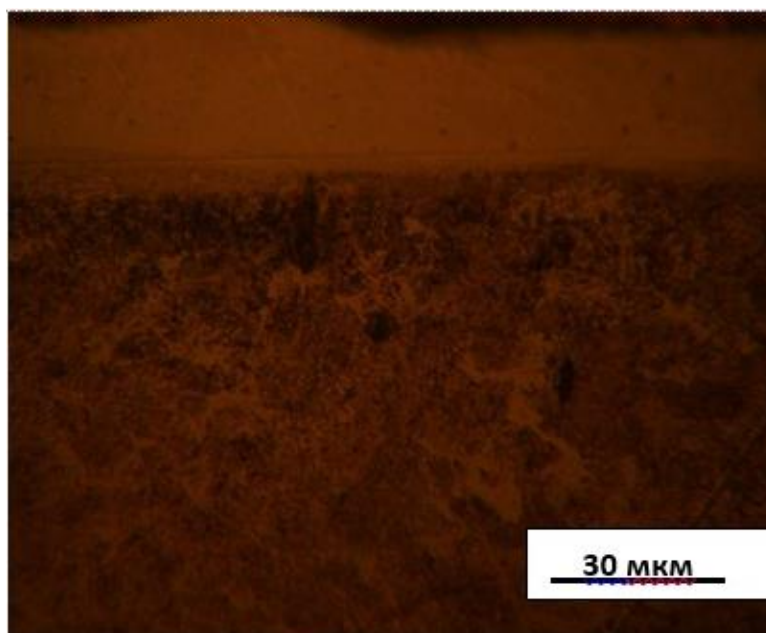


Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X після ЕІІ Cr

МікродюрOMETричний аналіз допоміг встановити, що мікротвердість легованого шару підвищилася до 9,5 ГПа (рис. 3.3).

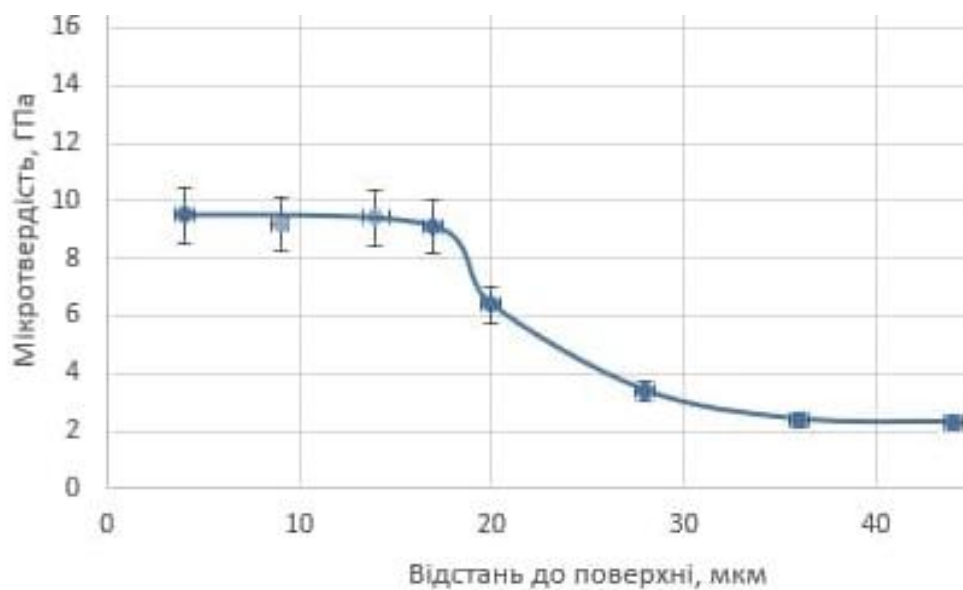


Рисунок 3.3 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X після ЕІІ Cr

Як результат фазового рентгенівського аналізу сталі 40X після електроіскрового легування хромом було зафіксовано наступні фази: твердий розчин Fe-Cr та гама-Fe (рис. 3.4, табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результат фазового рентгенівського аналізу сталі 40Х після ЕІЛ на повітрі анодом Cr

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Інтенсивність, імпульс	Фази
1	42,65	2,11	15	γ -Fe(1,1,1)
2	44,58	2,03	31	Cr-Fe (110)
3	50,81	1,79	33	γ -Fe(2,0,0)
4	65,06	1,43	5	Cr-Fe (200)
5	73	1,29	8,36	γ -Fe(2,2,0)
6	82,14	1,17	8	Cr-Fe (211)
7	89,78	1,09	5	γ -Fe(3,1,1)
8	99,1	1,01	5,25	Cr-Fe (220)

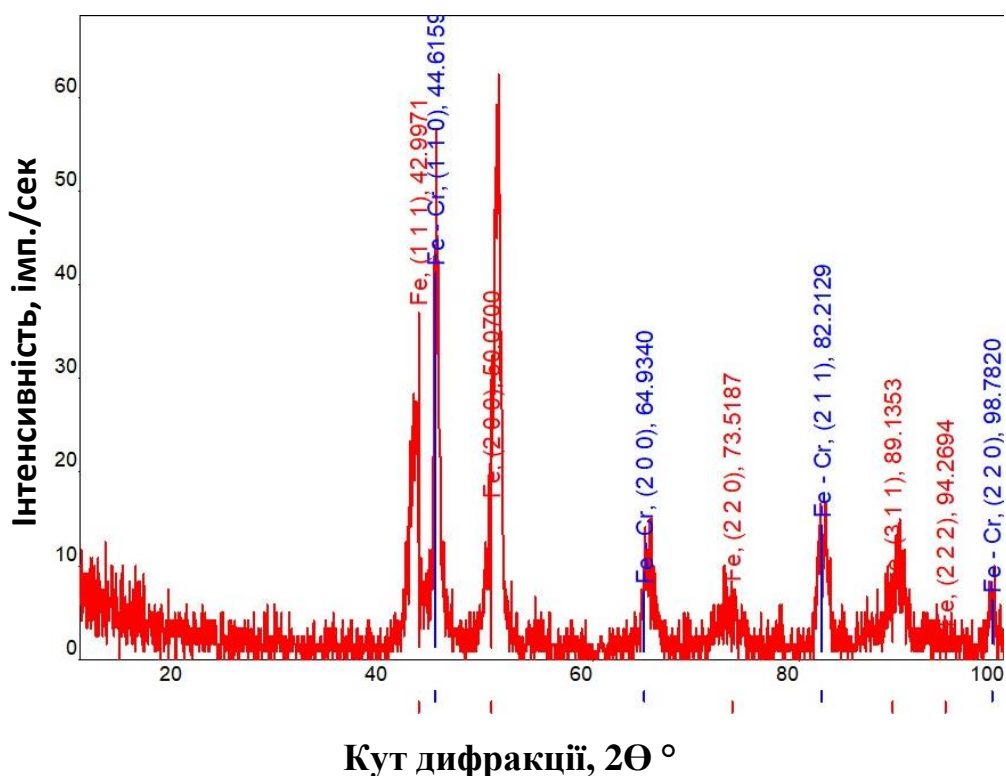


Рисунок 3.4 – Фазовий склад легованого шару сталі 40Х після ЕІЛ Cr

Отримані результати свідчать про незначне підвищення мікротвердості легованого шару в результаті ЕІЛ сталі 40Х хромом (до 9,5 ГПа), але протяжність зміцненої зони досягала 32 мкм і не мала помітних тріщин і сколів.

3.2 Дослідження зразків після ЕІЛ Nb

В процесі ЕІЛ відбувається перенесення матеріалу анода на катод. Маса анода зменшується, а маса катод збільшується (рис. 3.5).

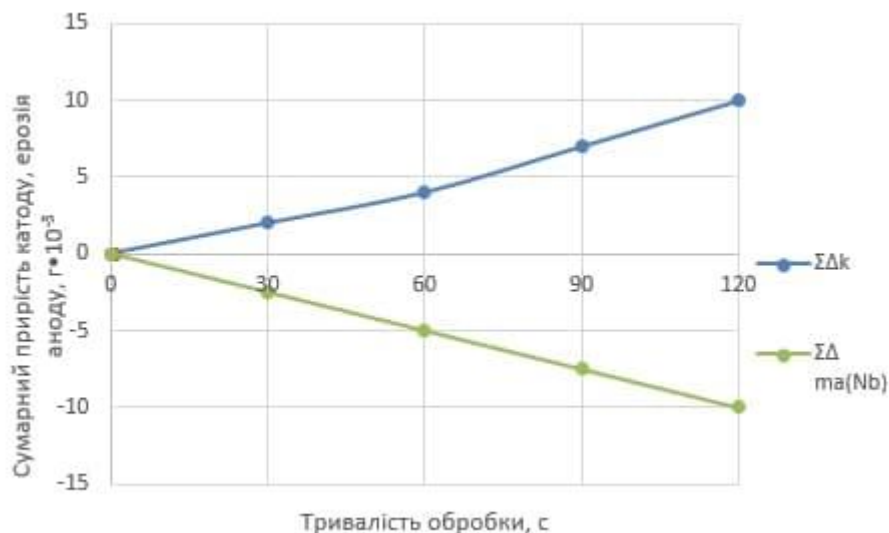


Рисунок 3.5 – Зміна маси катода та анода після ЕІЛ Nb

При наступному електроіскровому легуванні сталі 40X також на повітрі, але вже ніобієвим анодом товщина поверхневого легованого шару 20 мкм (рис. 3.6).

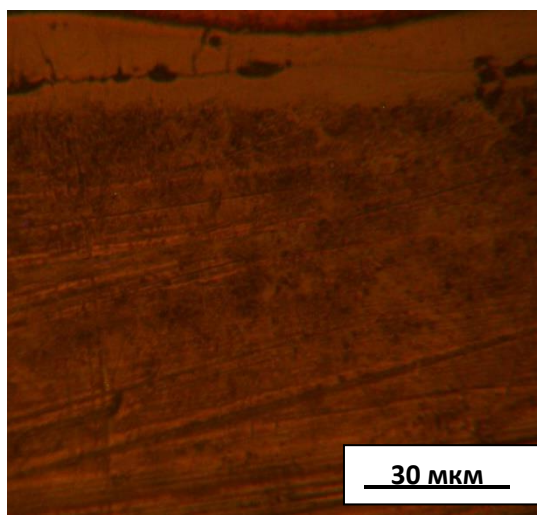


Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X після ЕІЛ Nb

МікродюрOMETричний аналіз зразка легованого ніобієм показав значне зростання значень мікротвердості поверхневого легованого шару до 14,5 ГПа (рис. 3.7).

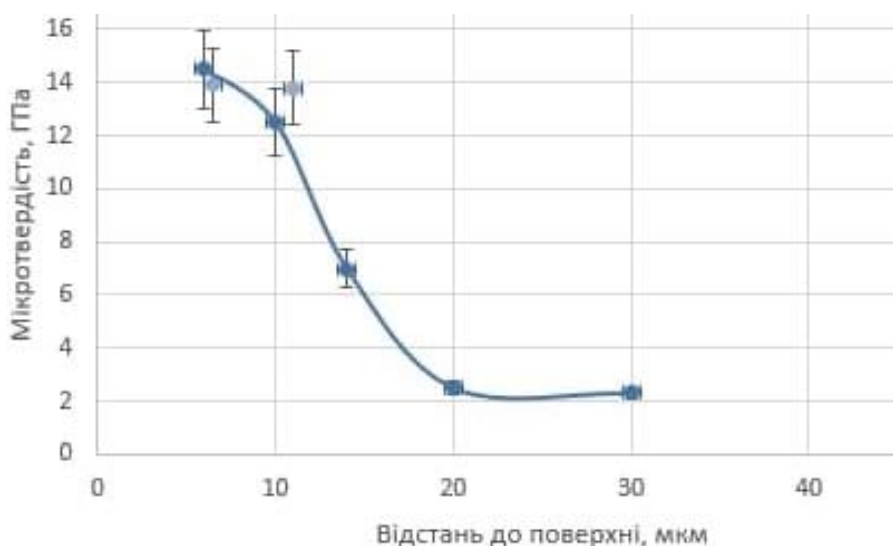


Рисунок 3.7 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X після ЕІЛ Nb

Після проведення фазового рентгенівського аналізу легованої зони був встановлений наступний фазовий склад: альфа – Fe, Nb, інтерметалід залізо-ніобій $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (рис. 3.8, табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результат фазового рентгенівського аналізу сталі 40X після ЕІЛ на повітрі анодом Nb

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Інтенсивність, імпульс	Фази
1	35,75	2,51	20	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (110)
2	38,84	2,31	4,7	Nb (110)
3	41,50	2,17	17	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (116)
4	44,59	2,03	57	Fe (110)
5	60,17	1,53	9	Nb (200)
6	64,92	1,43	8	Fe (200)
7	71,8	1,31	6	Nb (211)
8	75,83	1,25	5,5	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (220)
9	82,28	1,17	11	Nb (220) , Fe(211)
10	98,64	1,01	4,3	Nb (310) , Fe (220)

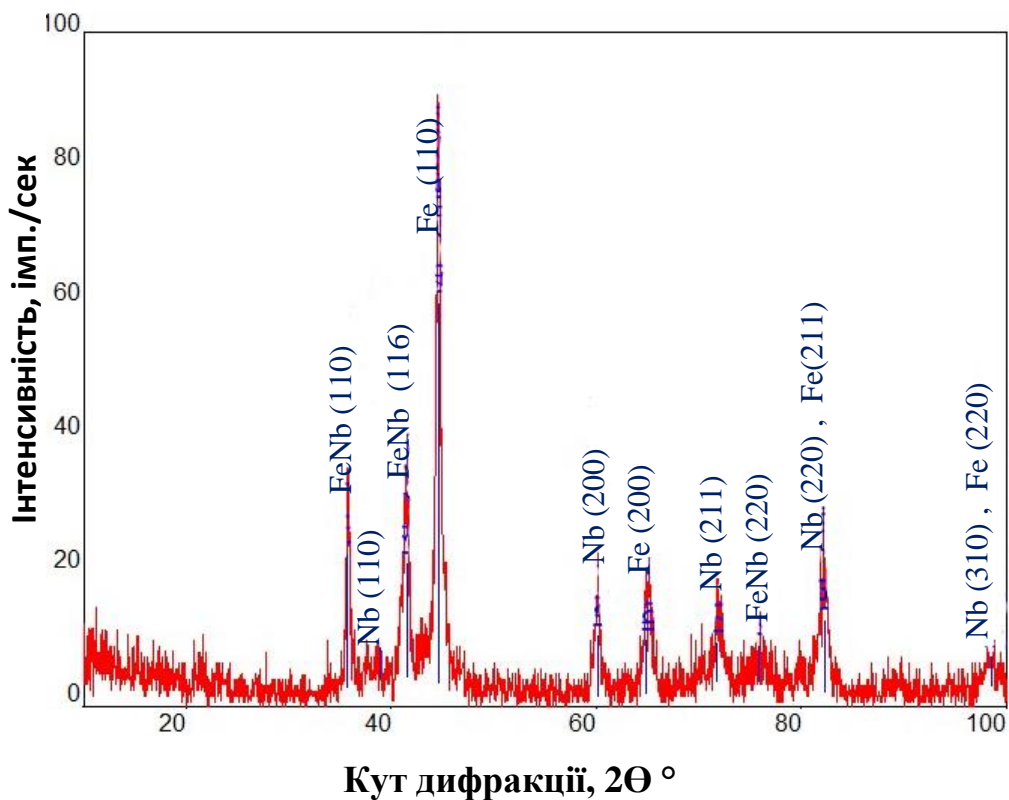


Рисунок 3.8 – Фазовий склад легованого шару сталі 40X після ЕІЛ Nb

3.3 Дослідження зразків після ЕІЛ Cr+Nb

Гравіметричний аналіз дав змогу побачити зміну маси (рис. 3.9).

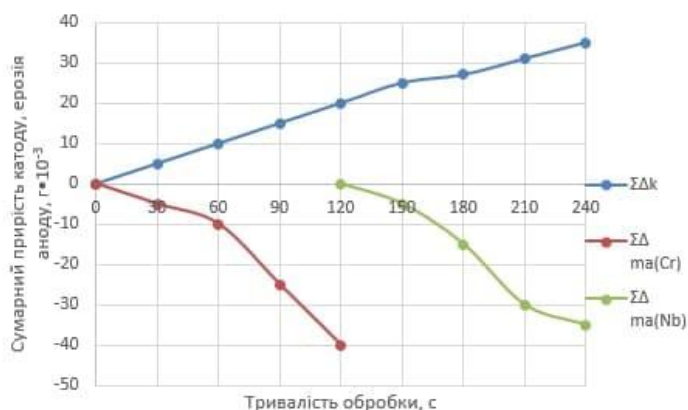


Рисунок 3.9 – Зміна маси катода та анода після ЕІЛ Cr+Nb

Мікроструктурний аналіз зразка сталі 40X після ЕІЛ анодом з хрому, а після цього анодом з ніобію виявив збільшену товщину легованого шару, у порівнянні з попередніми обробками, яка досягала 35 мкм (рис. 3.10).

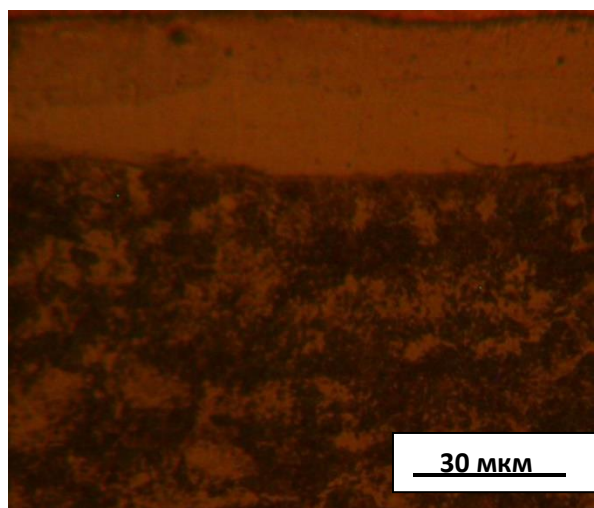


Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X після ЕІЛ Cr+Nb

В легованому шарі були відсутні тріщини і спостерігався щільний зв'язок з матеріалом основи.

Після проведення мікродюрOMETричного аналізу зразка, який на цей раз легувався за схемою Cr+Nb, було встановлено досить суттєве зростання мікротвердості легованого шару до 13 ГПа (рис. 3.11).

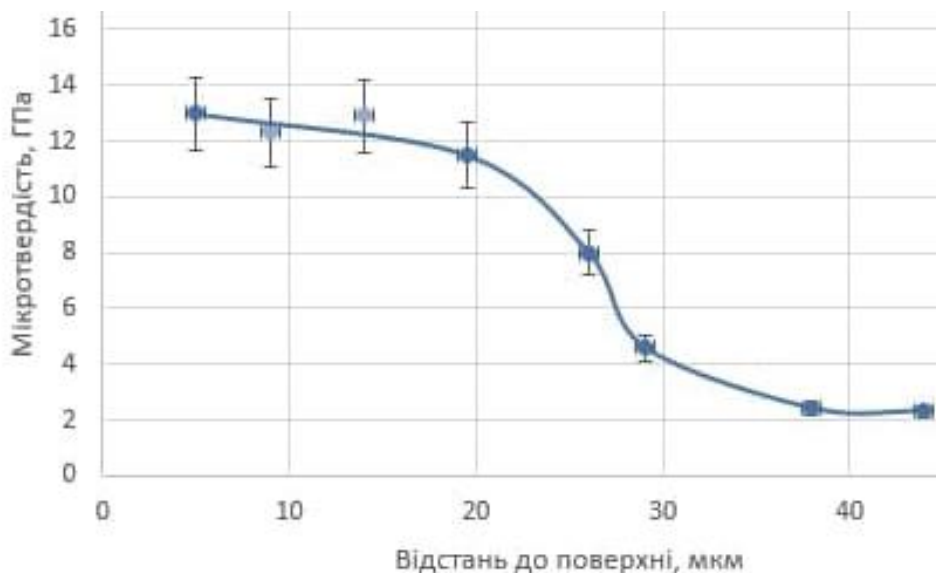


Рисунок 3.11 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X після ЕІЛ Cr+Nb

Рентгенофазовий дозволив виявити такі фази: твердий розчин Fe-Cr та інтерметалід $Fe_{6,8}Nb_{6,2}$ (рис. 3.12, табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Результат фазового рентгенівського аналізу сталі 40X після ЕІЛ на повітрі анодом Cr + Nb

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Інтенсивність, імпульс	Фази
1	35,92	2,49	37	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (1 1 0)
2	38,69	2,32	9,66	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (1 0 10)
3	41,61	2,16	35	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (2 0 0)
4	44,50	2,03	62	Cr-Fe (1 1 0)
5	51,07	1,78	6,42	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (0 1 14)
6	60,44	1,53	20	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (0 0 18)
7	64,76	1,43	7	Cr-Fe (2 0 0)
8	72,12	1,30	11	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (1 1 18)
9	76,14	1,24	13,08	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (2 2 0)
10	81,90	1,17	15	Cr-Fe (2 1 1)
11	90,48	1,08	5,14	Fe _{6.8} Nb _{6.2} (2 1 19)
12	98,64	1,01	11,42	Cr-Fe (2 2 0)

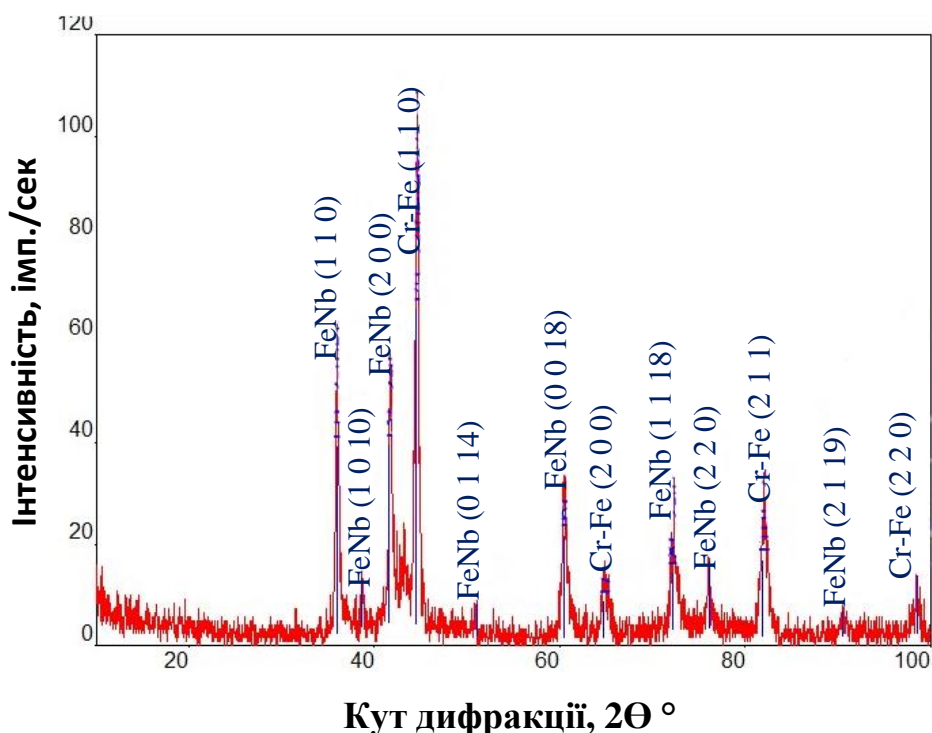


Рисунок 3.12 – Фазовий склад легованого шару сталі 40X після ЕІЛ Cr+Nb

За результатами проведених експериментів встановлено позитивний вплив процесу ЕІЛ за схемою Cr+Nb на характеристики зміцненого поверхневого шару на сталі 40X. Показано поєднання високих значень мікротвердості, відносно

великої товщини легованого шару, відсутності тріщин і щільного зв'язку з основою. Такі властивості можуть бути зумовлені декількома факторами, а саме: утворенням пластичного необмеженого твердого розчину хрому в залізі на першій стадії ЕІЛ, формуванням частинок інтерметаліду $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ на другій стадії, що призводить до утворення зони як з високою мікротвердістю, так і з відносно високою пластичністю.

3.4 Дослідження зразків після ЕІЛ Nb+Cr

В процесі ЕІЛ відбувається масоперенесення. Тобто маса катода спадає, а анода – зростає (рис. 3.13).

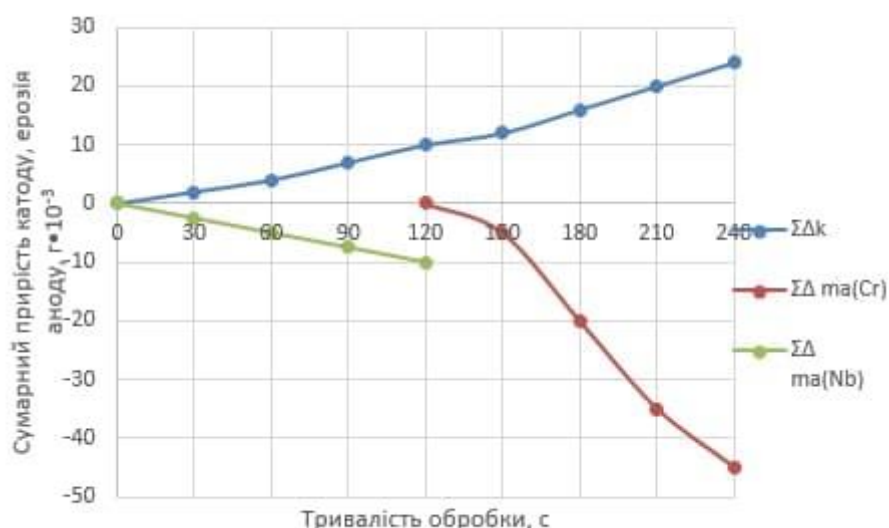


Рисунок 3.13 – Зміна маси катода та анода після ЕІЛ Nb+Cr

При електроіскровому легуванні у послідовності(ніобій-хром) утворений легований шар на поверхні зразка має товщину до 25 мкм (рис. 3.14).

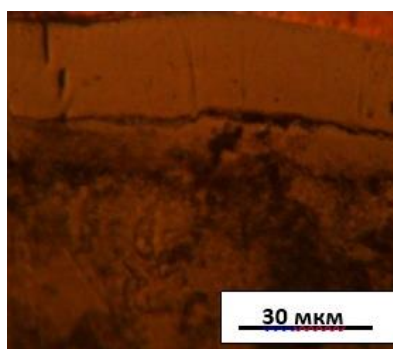


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X після ЕІЛ Nb+Cr

Спостерігається незначне утворення тріщин і досить різка границя поверхневого шару з основою.

Мікротвердість поверхневого шару досягає значень 13,5 ГПа (рис. 3.15).

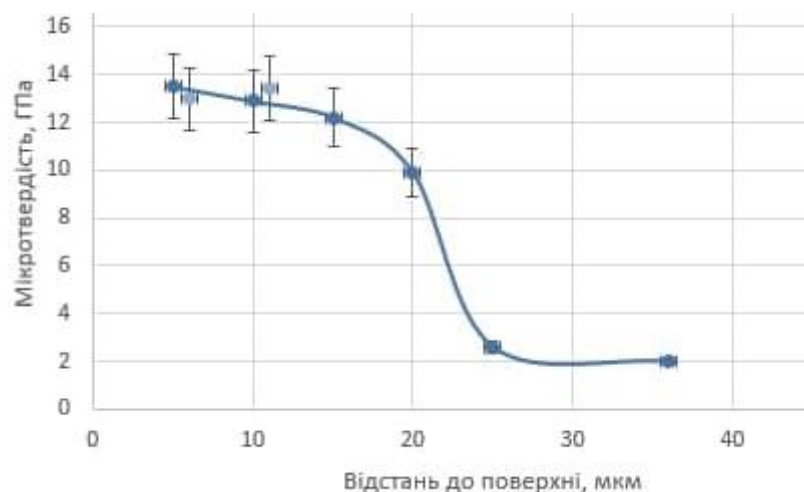


Рисунок 3.15 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X після ЕІЛ Nb+Cr

У поверхневому шарі зафіксовані наступні фази: твердий розчин Fe-Cr та інтерметалід $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (рис. 3.16, табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Результат фазового рентгенівського аналізу сталі 40X після ЕІЛ на повітрі анодом Nb + Cr

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Інтенсивність, імпульс	Фази
1	35,82	2,50	5,7	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (1 1 0)
2	42,00	2,14	15	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (0 0 12)
3	44,51	2,03	30	Fe-Cr (1 1 0)
4	48,65	1,86	5,2	$Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ (1 1 9)
5	65,05	1,43	5	Fe-Cr (2 0 0)
6	81,94	1,17	9	Fe-Cr (2 1 1)
7	98,05	1,02	3,5	Fe-Cr (2 2 0)

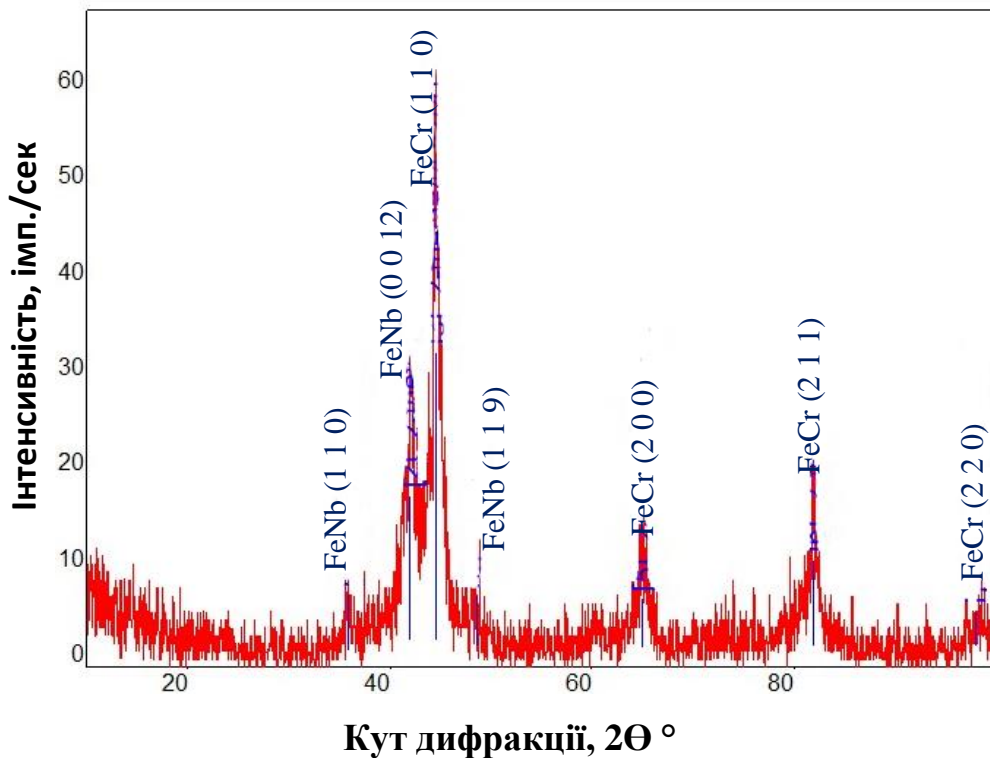


Рисунок 3.16 – Фазовий склад легованого шару сталі 40X після ЕІЛ Nb + Cr

Електроіскрове легування у послідовності Nb+Cr призводить до зростання мікротвердості до 13,5 ГПа, але товщина шару (25 мкм) менша, ніж при ЕІЛ у послідовності Cr+Nb. Це може бути пов'язано з тим, що формування необмеженого розчину Fe-Cr відбувалося на другій стадії ЕІЛ, після легування ніобієм. Шар попередньо нанесеного ніобію слугував бар'єром для формування твердого розчину Fe-Cr.

3.5 Висновки до розділу 3

Результати проведених експериментів дозволяють зробити наступні висновки.

Всі проведені режими ЕІЛ хромом і ніобієм в різних послідовностях сталі 40X призвели до суттєвого збільшення мікротвердості поверхневого шару. Такий ефект зумовлений формуванням необмежених твердих розчинів заліза і хрому зміцнених інтерметалідам $Fe_{6,8} Nb_{6,2}$. В залежності від послідовності стадій ЕІЛ

змінюється фазовий склад і співвідношення фаз, і, відповідно, змінюються мікротвердість і товщина шару.

ЕІЛ сталі 40Х хромом приводить до незначного підвищення мікротвердості легованого шару (до 9,5 ГПа), але протяжність зміцненої зони досягала 32 мкм і не мала помітних тріщин і сколів.

ЕІЛ сталі 40Х ніобієм призводить до суттєвого збільшення мікротвердості (14,5 ГПа), але товщина легованого шару складає лише 20 мкм, що менше ніж при ЕІЛ хромом (32 мкм). Значне зростання мікротвердості може бути зумовлене формуванням в альфа розчині заліза та в ніобії великої кількості (44 %) частинок інтерметаліду $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$. В легованому шарі спостерігаються тріщини, які можуть бути зв'язані з виникненням високих напружень внаслідок виділення великої кількості частинок інтерметаліду і низькою розчинністю ніобію в залізі.

Електроіскрове легування у послідовності Nb +Cr призводить до зростання мікротвердості до 13,5 ГПа, але товщина шару (25 мкм) менша, ніж при ЕІЛ у послідовності Cr+Nb, що може бути пов'язано з тим, що формування необмеженого розчину Fe-Cr відбувалося на другій стадії ЕІЛ, після легування ніобієм.

Процес ЕІЛ за схемою Cr+Nb сталі 40Х приводить до формування легованого шару з оптимальними характеристиками - високі значення мікротвердості (13 ГПа) поєднуються з відносно великою товщиною легованого шару (35 мкм), відсутності тріщин і наявності щільного зв'язку з основою. Такі властивості можуть бути зумовлені утворенням пластичного необмеженого твердого розчину хрому в залізі на першій стадії ЕІЛ, формуванням частинок інтерметаліду $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$ на другій стадії, що призводить до утворення зони як з високою мікротвердістю, так і з відносно високою пластичністю.

4. ОРГАНІЗАЦІЙНО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Використання електроіскрового легування (ЕІЛ) є одним з напрямків розвитку зміцнюючих технологій.

Метод ЕІЛ, що заснований на застосуванні концентрованих потоків енергії з протіканням імпульсних розрядів у міжелектродному середовищі з наступним перенесенням матеріалу аноду (легуючий електрод) на поверхню катоду (деталі), залишається ефективною технологією модернізації хімічного складу та структурно-фазового стану з впливом на властивості поверхневих шарів металевих матеріалів.

До переваг ЕІЛ належить: незначний нагрів деталі (0,2 % – 0,3 % від температури плавлення), відсутність деформації при обробці ,висока міцність зчеплення шарів покриття з основою деталі (від 10 МПа до 50 МПа) нескладність здійснення , можливість нанесення на деталь майже будь-яких електропровідних матеріалів

Зазначені вище переваги ЕІЛ роблять цей метод одним з прогресивних напрямків матеріалознавства.

Широкі можливості в зміні властивостей металевих поверхонь, а також відновлення їх після зношування суттєво вплинули на межі використання ЕІЛ у розвинених країнах світу, наприклад, Японії, Німеччині, США та інших.

При проведенні легування на повітрі очікується зменшення енергетичних затрат. Також зменшення часу обробки призводить до підвищених характеристик твердості в порівнянні з іншими методами.

При двостадійному електроіскровому легуванні, шляхом послідовного нанесення елементів на матеріал основи (зразка) спостерігається підвищення характеристик твердості, міцності та зносостійкості.

4.2 Мета і завдання НДР

Мета даної роботи полягає у дослідженні впливу послідовного нанесення елементів на структуру, мікротвердість та зносостійкість поверхневих шарів сталі 40X після ЕІЛ, за схемами Cr-Nb та Nb-Cr, на повітрі.

Для досягнення поставленої мети планується:

- 1) аналіз фахової літератури з даною темою;
- 2) опрацювання методики, що необхідна для проведення дослідження;
- 3) виготовлення та обробка зразків;
- 4) дослідження утвореного поверхневого шару його властивостей (мікротвердість, зносостійкість) та структури (мікροструктурний аналіз);
- 5) висунення припущень про взаємозв'язок між властивостями елементів та властивостями отриманого шару;
- б) 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.

Виходячи з цього денна заробітна плата виконавців НДР складає:

- провідного наукового співробітника – 521,14 грн;
- старшого наукового співробітника – 457,14 грн;
- інженера-дослідника – 392,04 грн.

Трудомісткість окремих етапів виконання НДР наведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість окремих етапів виконання НДР

Етапи НДР		Трудомісткість, 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	4	2
4. Проведення експерименту	Підготовка зразків			
	Нанесення покриття			
	Застосування гравіметричного аналізу	5	10	2
	Вимірювання мікротвердості			
5. Обговорення результатів НДР		6	8	1
Всього		28	29	5

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

$$\text{ЗП} = 28 \cdot 521,14 + 29 \cdot 457,14 + 5 \cdot 392,04 = 29809,36 \text{ грн.}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

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

$$BC = 0,22 \cdot ЗП$$

$$BC = 0,22 \cdot 29809,36 = 6558,06 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання НДР

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

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Зразки (сталь Ст3)	Кг	0,011	17	0,187
Шліфувальний папір	шт.	10	18,45	184,50
Спирт етиловий	Літр	0,100	47,50	4,75
Паста ГОИ	Кг	0,030	140	4,2
Всього				193,64

Транспортно-заготівельні витрати ($V_{тр}$) приймається у розмірі 10 % від повної вартості матеріалів:

$$V_{тр} = 0,1 \cdot 193,64 = 19,36 \text{ грн.}$$

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

$$V_M = 193,64 + 19,36 = 213 \text{ грн.}$$

4.3.4 Інші прямі невраховані витрати

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{нв}}$) становлять 10 % від суми втрат на заробітну плату, суми відраховують до єдиного соціального внеску, витрат на матеріали:

$$C_{\text{нв}} = 0,1 \cdot (ЗП + ВС + ВМ)$$

$$C_{\text{нв}} = 0,1 \cdot (29809,36 + 6558,06 + 213) = 3658,04 \text{ грн.}$$

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 ($H_{\text{в}}$) 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 :

$$H_{\text{в}} = 0,2 \cdot (ЗП + ВС + ВМ + C_{\text{нв}})$$

$$H_{\text{в}} = 0,2 \cdot (29809,36 + 6558,06 + 213 + 3658,04) = 8047,7 \text{ грн.}$$

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	29809,36	61,73
Відрахування до єдиного соціального внеску	ВС	6558,06	13,58
		Сума	
Найменування калькуляційних статей	Позначення	грн.	%
Витрати на матеріали	Вм	213	0,45
Інші прямі витрати	С _{нв}	3658,04	7,58
Накладні витрати	НВ	8047,7	16,67
Всього		48286,16	100

Відповідно до даних з тал. 4.3 загальна планова собівартість НДР складає:

$$ЗВ_{\text{НДР}} = 48286,16 \text{ грн.}$$

4.1 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності

В дані роботі проводились дослідження що мають пошуковий та теоретичний характер. Оскільки повні дані що до сфери застосування отриманих результатів дослідження відсутні, то відповідно й прямий розрахунок очікуваного річного ефекту ускладнений. В зазначеному випадку використовують бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки;

- можливість використання результатів;
- новітність дослідження та його теоретичне значення;
- складність розробки.

За кожною з перелічених шкал, частку сумарного річного економічного ефекту, умовно позначають відповідно до номеру шкали коефіцієнтом (K1, K2, K3, K4). Розглянемо систему оцінки за кожною шкалою більш детально. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K1 може приймати такі значення:

- 1) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- 2) робота виконується з угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- 3) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- 4) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K2 може мати такі значення:

- 1) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- 2) результати розробки можуть використовуватись тільки однією організацією – 3 бали;
- 3) результати розробки можуть використовуватись багатьма організаціями – 5 балів;
- 4) результатами розробки можуть користуватись споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;
- 5) результатами розробки можуть користуватись споживачі в різних галузях – 10 балів;

Коефіцієнт K3 може мати такі значення:

- 1) робота є аналізом, узагальненням або класифікацією наявної інформації, подібні результати вже були отримані в досліджуваній галузі – 2 бали;
- 2) при виконанні роботи отримана нова інформація, що доповнює уявлення

про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

3) наслідком виконання роботи стала нова інформація, що частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

4) в результаті виконання НДР сформульовані нові теорія, методика або щось подібне – 6 балів;

5) отримана інформація принципово змінює уявлення про суть досліджуваних процесів, аналогів не має – балів.

Коефіцієнт К4 може приймати такі значення:

1) роботу виконує один підрозділ, витрати менше 20000 грн. – 1 бал;

2) роботу виконує один підрозділ, витрати від 20 тис.грн. до 100 тис. грн. – 3 бали;

3) роботу виконує один підрозділ, витрати від 100 тис. грн. до 200 тис. грн. – 5 бали;

4) робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 200 тис. грн. до 1 млн. грн. – 7 балів;

5) робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 1 млн. грн. – 9 балів.

Загальна оцінка (О) є добутком усіх коефіцієнтів:

$$O = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.1)$$

де К1 – коефіцієнт важливості розробки;

К2 – коефіцієнт можливості використання результатів;

К3 – коефіцієнт теоретичної значущості та рівня новини;

К4 – 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 розробки	1	Робота являє собою частину відомчої програми
K_2	Можливість використання результатів	8	Результатами розробки можуть користуватися в межах галузі
K_3	Теоретична значимість 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 O дорівнює:

$$O = 1 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 3 = 120$$

Умовний річний економічний ефект ($E_{\text{НДР}}$) науково-дослідницької роботи визначається:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot O - E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (4.2)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{Н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{Н}} = 0,2 \dots 2,0$ для нашого розрахунку обираємо $E_{\text{Н}} = 0,2$);

$V_{\text{НДР}}$ – витрати на виконання НДР (планова річна собівартість виконання НДР, у зазначених вище розрахунках $V_{\text{НДР}} = 47362,51$ грн.).

Скориставшись формулою (4.2) маємо:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot 120 - 0,2 \cdot 48286,16 = 50342,768$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{НДР}} = E_{\text{Н}} / V_{\text{НДР}} \quad (4.3)$$

$$E_{\text{НДР}} = 50342,768 / 48286,16 = 1,04$$

Розрахований коефіцієнт свідчить про доцільність проведення НДР.

4.2 Висновки до розділу 4

Обґрунтована науково-технічна актуальність проведення даної НДР.

Визначена планова кошторисна собівартість проведення НДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів ($V_{\text{НДР}} = 48286,16$ грн).

Розрахований коефіцієнт економічної ефективності НДР ($E_{\text{НДР}} = 1,04$), що свідчить про доцільність виконання даної науково-дослідницької роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета цього розділу – забезпечення нешкідливих та безпечних умов праці. Також в цьому розділі необхідно провести аналіз умови праці, яка пов'язана з виконанням даної роботи. Після чого буде відбуватися розроблення засобів та заходів, що спрямовані на усунення несприятливих чинників, а також забезпечення безпеки персоналу у разі надзвичайної ситуації.

5.1 Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві

Дипломна робота проводилась на кафедрі фізики металів в Інституті матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського, в лабораторіях 036 та 034, дев'ятого корпусу.

Закон України «Про охорону праці» є основним нормативним документом. За даними зазначеного закону визначені основні положення щодо захисту та додержання конституційних прав працівників, на їх охорону життя і здоров'я під час трудової діяльності. Регулювання закону відбувається за участю відповідних органів державної влади [42].

Відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі.

Відповідно до статті 14 Закону України «Про охорону праці» працівник зобов'язаний:

- дбати про власну безпеку та здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведіння з машинами, механізмами, устаткуваннями та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального

захисту;

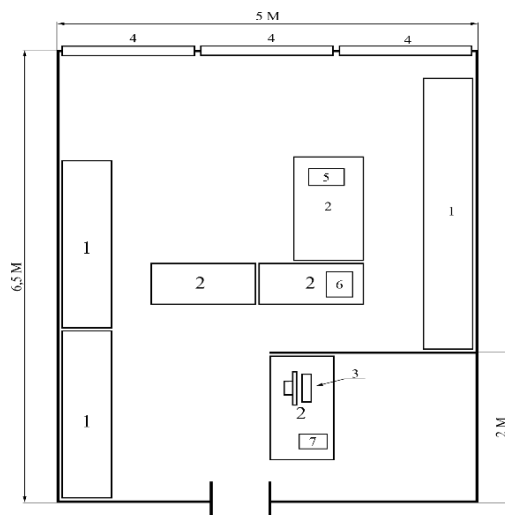
- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Відповідно до статті 15 Закону України № 5459-VI від 16.10.2012 «Про охорону праці» на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо ректору КПІ ім. Ігоря Сікорського Згуровському Михайлу Захаровичу. Очільник відділу охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського – Луцик Едуард Григорович. Відповідальний за охорону праці в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» – Полторацький М.М., на Інституті металознавства та зварювання імені Є.О. Патона – Лобода П.І., на кафедрі Фізики металів (ФМ) – Васильєв С.Б., у науково-дослідній лабораторії 403 навчального корпусу № 19 – Мазур А.І..

5.2 Аналіз параметрів приміщення

Робота виконується в лабораторіях електроіскрового легування (ЕІЛ) № 034, на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електроіскрове легування здійснювалося на установці «ЭЛИТРОН – 26А». Принцип дії устаткування пов'язаний з генеруванням електричних розрядів у міжелектродному проміжку поміж анодом та катодом (катодом- зразком, та анодом – матеріалом що наноситься на поверхню зразка). Гравіметричний аналіз здійснювався за безпосередньої участі ваг. Мікротвердість отриманих зразків визначалася на приладі ПМТ-3М. Виготовлення та підготовка шліфів здійснювалася на полірувальних колах та на шліфувальному верстаті. Мікроструктурне дослідження зразків проводилося з використанням металографічного мікроскопу МІМ-8М. Схема лабораторій приведена на рис. 5.1.



1 – шафа; 2 – стіл; 3 – обчислювальна техніка; 4 – вікна; 5 – ПМТ-3М;

6 – «Элитрон – 26А»; 7 – МІМ-8М

Рисунок 5.1 – План лабораторії де проводилось дослідження, кабінет № 034

Проаналізуємо небезпечні та шкідливі фактори виробничої діяльності, що стосуються даної роботи. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяють на п'ять груп: фізичні, хімічні, біологічні, психофізичні та соціальні [43].

До фізичних факторів відносять: машини та механізми що рухаються, обертаються; системи та устаткування, які знаходяться під підвищеним тиском; підвищена запиленість повітря, низька температура повітря у виробничих приміщеннях; підвищений рівень шуму, вібрації, висока напруга в електричній мережі, підвищений рівень електромагнітних випромінювань; підвищена напруженість електричного та магнітних полів; недостатня освітленість робочої зони.

Хімічні фактори: різноманітні хімічні речовини, які знаходяться в лабораторіях.

Основні фактори ризику, які можуть бути присутні при використанні установок, наведені в таблиці 5.1 [43].

Таблиця 5.1 – Перелік шкідливих факторів

Устаткування	Шкідливі та небезпечні фактори
ПМТ-3М	Наявність шуму та вібрації; електромагнітне випромінювання; ураження електричним струмом.
МІМ-8М	наявність шуму та вібрації; м'яке рентгенівське випромінювання; електромагнітне випромінювання; ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання; електростатичне поле між екраном і оператором; ураження електричним струмом.
«Элитрон – 26А»	наявність шуму та вібрації; ураження електричним струмом.

Розглянемо параметри науково-дослідної лабораторії № 034:

довжина – 6,5 м; ширина – 5 м; висота – 3,8 м.

Проведемо розрахунки площі та об'єму:

- площа лабораторії: $S = a \times b = 32,5 \text{ м}^2$;

- загальний об'єм лабораторії: $V = a \times b \times h = 123,5 \text{ м}^3$.

Оскільки кількість працюючих у лабораторії № 034 не перевищує 3 осіб, то площа та об'єм, що припадає на одну людину дорівнює:

- площа лабораторії на одного працівника $S = S/3 = 10,8 \text{ м}^2$;

- об'єм лабораторії на одного працівника $V = V/3 = 41,2 \text{ м}^3$.

Таким чином порівнявши оптимальні значення площі та об'єму приміщення з розрахованими значеннями робимо висновок, що розміри приміщень по відношенню до кількості працюючих у ньому людей відповідають оптимальним умовам, відповідно до норм ДСанПін 3.32.007-88.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Оптимально підібране освітлення надає сприятливі умови для організації робочого процесу. Освітлення поділяють на три типи: природне, штучне та суміщене. В свою чергу природне освітлення поділяють на бічне, верхнє та комбіноване, а штучне на – загальне та місцеве.

Невірно підібране освітлення, його нерівномірність, недостатність або надмірність у полі зору працівника наносить шкоду здоров'ю, призводить до зниження продуктивності та розсіювання уваги, що в свою чергу веде до підвищення ризику нещасних випадків.

У лабораторії № 034 здійснюється природне бокове освітлення, вікна виходять на північ, та штучне освітлення такий тип освітлення носить назву комбінований. Зовнішнє освітлення при хмарній погоді складає 1000 лк. Відстань від вікна до робочого місця не перевищує 3 м.

Для місцевого штучного освітлення використовують лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці на кожен з лабораторій) [43].

Завдяки перерахованим заходам освітлення у лабораторіях відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006.

5.4 Аналіз мікроклімату приміщення

Для нормальної працездатності людини суттєве значення має чистота повітря, необхідний хімічний склад, оптимальність його (повітря) температури, вологості та швидкості руху. Тому аналіз мікроклімату у лабораторіях має важливе значення. Дослідження мікроклімату звертають увагу на такі показники: температура, рухливість повітря у робочій зоні, вологість повітря. Отримані дані співставляють з встановленими нормами.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт Іб легка (роботи, які виконуються сидячі, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деякими фізичними напруженнями) за такої категорії робіт енерговитрати

складають до 150 Ккал/год [43].

Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови

Період року	Категорія Робіт	Температура $t, ^\circ\text{C}$		Відносна вологість, %		Швидкість руху пов., м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	Іб	21-23	20-24	60-40	<75	0,1	0,1-0,3
Теплий		22-24	21-28	60-40	<65	0,2	0,1-0,3

За результатами дослідження виявлено, що у робочій зоні лабораторії № 034 та № 036 фактична температура у холодний період року становить $+5 ^\circ\text{C}$, фактична швидкість руху повітря – 0,1 м/с та фактична відносна вологість 70 %. В теплий період року фактична температура становить $+15 ^\circ\text{C}$, фактична швидкість руху повітря – 0,2 м/с та фактична відносна вологість – 55 %.

На основі написаного робимо висновок, що мікроклімат в лабораторіях не відповідає наведеним у табл. 5.2 оптимальним умовам.

Для того щоб мікроклімат відповідав оптимальним умовам необхідно підвищити температуру у робочому приміщенні. Для цього необхідно взяти такі заходи:

- застосувати електрифіковані засоби опалення;
- утеплити приміщення.

5.5 Аналіз наявності шуму в приміщенні

Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елітрон- 26», що видає певний шум під час роботи, також шум надходив у процесі дослідження зразків на зносостійкість.

Шум може викликати різні загально біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади та механічні ушкодження. Під час роботи в шумних умовах продуктивність ручної роботи може знизитись на 40 %, а при розрахунках на 50 % [41]. При тривалій роботі в шумних умовах перш за все уражається нервова та серцево-судинна системи та органи дихання.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 [41]. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів.

У даному випадку наявний імпульсний шум. Так як робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму використовували засоби індивідуального захисту протишумові вкладиші, які встромляються у слухові проходи.

5.6 Виробниче випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відеодисплейних терміналів, ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [42].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпек впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків у відповідності з СП 1960-79 для побутової радіоелектронної апаратури (РЕА) встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, яке не повинно перевищувати $2,78 \times 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора. Потужність експозиційної дози НРВ в будь-якій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 год. Враховуючи, що робота частково проводиться за ЕОМ, час роботи за монітором не перевищував

4 години за зміну, з технологічними перервами.

5.7 Запиленість та загазованість

В процесі приготування шліфів на механічному верстаті утворюється неорганічний пил з сполукою кремнію та окисел хрому Cr_2O_3 при поліруванні пастою “ДОГ” у мокрому середовищі. Указ №1596 від 14.07.2020 передбачає гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони: пил з діоксидом кремнію до 4 % – ГДК = 4 мг/м³, клас 3; для окисла хрому ГДК = 1 мг/м³, клас 2. В таблицю 5.4 [42] занесені виміряні та допустимі значення концентрації речовин, що виділяються при приготуванні шліфів.

Таблиця 5.4 – Концентрація речовин при приготуванні шліфів

Речовина	Концентрація речовини, мг/м ³	
	Виміряна	Допустима за нормами (ГДК)
Пил з діоксидом кремнію до 4 %	8	4
Окисел хрому	0,25	1
Спирт етанол	800	1000
Азотна кислота	3	5

Процес приготування шліфів завершується їх травленням. В цій процедурі застосовуються: спирт етанол для обезжирювання та 3 % процентний розчин азотної кислоти в спирті для травлення.

З таблиці 5.4 видно, що фактичні значення концентрації речовини для пилу з діоксидом кремнію до 4 % та окислу хрому перевищують гранично допустимі концентрації. Враховуючи коротку тривалість шліфування та поліровки, для

забезпечення безпечної роботи достатньо використовувати засоби індивідуального захисту – ШБ1 «Лепесток 5». Для травників допустимі норми не перевищуються, тому ніяких засобів захисту використовувати не потрібно.

5.8 Електробезпека

Відповідно до діючих правил побудови електроустановок ППЕ-97 з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом приміщення лабораторії відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки електротравм. Це приміщення з струмо-непровідною підлогою та з температурою повітря 18 °С – 25 °С. При виконанні НДР використані електроустановки живляться від мережі з напругою 220 В та частотою змінного струму 50 Гц. До причин враження електричним струмом під час виконання роботи з використанням електрообладнання належать:

1. помилкове включення електричних приладів при проведенні ремонтних робіт;
2. пошкодження ізоляції неструмопровідних частин електроприладів;
3. через відсутність засобів захисту струмопровідних частин.

Безвідповідальне ставлення до електробезпеки має небезпечні наслідки не тільки для здоров'я, а й для життя людини. Імовірність смертельного враження струмом вище, в порівнянні з іншими причинами травматизму [44].

На дію електричної поразки впливає ряд факторів:

- 1) величина струму (1 мА);
- 2) рід струму (струм перемінний);
- 3) частота струму (50 Гц);
- 4) шлях струму в організмі (г-н, р-р, р-г);
- 5) тривалість дії струму;
- 6) стан організму;

Виробниче середовище, відноситься до приміщень без підвищеної електричної небезпеки.

Величина струму, що протікає через яку-небудь ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самостійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного результату.

До напруги 42 В найбільш небезпечний перемінний струм, а більше 42 В вплив однаковий як постійного так і перемінного струму. Найбільш небезпечна частота в 50 Гц ... 60 Гц.

У лабораторіях, де проводилось дослідження, виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Завдяки розташуванню робочих місць виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів.

5.9 Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта – це такий стан об'єкта, за яким регламентовано виключається імовірність виникнення та розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Усунення умов виникнення та мінімізація наслідків пожежі є основними напрямками забезпечення пожежної безпеки [42].

Відповідно до НАПБ Б.07.005-86 лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії В, тому що в ній знаходяться тверді горючі та важкогорючі матеріали (пил і волокна), здатні горіти тільки при взаємодії з водою, киснем повітря або між собою, за умов, що вони не належать до категорій А і Б.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- 1) електроустановки та їхня проводка;
- 2) паркет та штори;
- 3) шафи та паперові документи, що знаходяться в них.

Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:

- 1) порушення технологічного режиму;
- 2) несправність електроустаткування;
- 3) необережне звертання з вогнем;

- 4) ремонт устаткування на ходу;
- 5) неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки [42].

У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою, полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник вуглекислотноброметиловий ОУБ-3, а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани.

Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1).

Основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500 В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами.

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

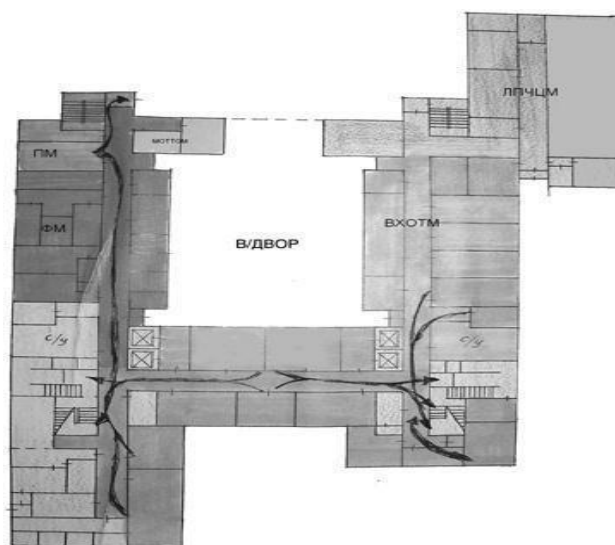


Рисунок 5.2 – План евакуації

5.10 Висновки до розділу 5

У даній виконано аналіз шкідливих та небезпечних факторів, передбачає умови при яких може виникнути небезпека ураження організму.

На основі вище написаного можна зробити висновок, що організація робочого місця, освітлення, в лабораторії відповідає вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено можливість створення зміцнених покриттів на сталі 40X при електроіскровому легуванні хромом та ніобієм як окремо, так і в різних послідовностях.

2. З'ясовано, що при ЕІЛ сталі Nb мікротвердість складає 14,5 ГПа, а товщина шару 20 мкм, при ЕІЛ сталі Cr мікротвердість складає 9,5 ГПа, а товщина - 32 мкм.

3. Встановлено вплив послідовності ЕІЛ Cr та Nb на мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад поверхневих шарів сталі 40X. При ЕІЛ у послідовності Cr-Nb високі значення мікротвердості (13 ГПа) поєднуються з відносно великою товщиною шару - 35 мкм, що зумовлено утворенням твердого розчину Cr-Fe і формуванням інтерметаліду $Fe_{6.8}Nb_{6.2}$. При ЕІЛ у послідовності Nb - Cr мікротвердість складає 13,5 ГПа, а товщина шару - 25 мкм.

4. Визначено яка має бути планова собівартість проведення НДР за темою «Формування функціональних покриттів на сталі 40X електроіскровим легуванням Cr та Nb», яка становить 48286,16 грн.

5. Знайдено, що НДР проводилася саме в тих лабораторіях, де усі вимоги пожежної безпеки та електробезпеки були дотримані.

CONCLUSIONS

1. The possibility of creating reinforced coatings on 40X steel by electrospark alloying with chromium and niobium both separately and in different sequences has been established.

2. It was found that with EIL steel Nb the microhardness is 14.5 GPa and the layer thickness is 20 μm , with EIL steel Cr the microhardness is 9.5 GPa and the thickness is 32 μm .

3. The influence of EIL Cr and Nb sequences on the microstructure, microhardness and phase composition of 40X steel surface layers was established. In EIL in the Cr – Nb sequence, high values of microhardness (13 GPa) are combined with a relatively thick layer thickness of 35 μm , which is due to the formation of a solid solution of Cr-Fe and the formation of the intermetallic $\text{Fe}_{6.8}\text{Nb}_{6.2}$. When EIL in the sequence Nb - Cr microhardness is 13.5 GPa, and the layer thickness is 25 μm .

4. The planned cost of research on the topic "Formation of functional coatings on 40X steel by electrospark alloying Cr and Nb", which is 48286.16 UAH

5. It was found that the research was carried out in those laboratories where all fire safety and electrical safety requirements were met.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Из истории электроискровой обработки материалов [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://sodick.sodicom.biz/2015/wp-content/uploads/2018/10/BorisStavitskii-%D0%904.pdf>, свободный. – (дата обращения: 02.04.2021). – Заголовок с экрана.
2. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко – М.: Машиностроение, 1976. – 47 с.
3. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Даль наука, 1995. – 320с.
4. Повышение эффективности поверхностного упрочнения при электроискровом легировании деталей машин / Б.И. Лукичѳв, Ю.А. Белобрагин, С.В. Усов [и др.] // Электронная обработка материалов, 1987. – №4. – С.22–25.
5. Ким В.А. Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изношевания режущего инструмента / В.А. Ким – Владивосток: Даль наука, 2001. – 199с.
6. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноде / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов, 1986. – №4. – С.65–68.
7. Лубан Р.Б. О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С.Пеккер // ЭОМ, 1991. – №8 – С.13–15.
8. Иванова Е.В. Феноменологическая модель электроискрового легирования / Е.В. Иванова // Статья в сборнике трудов конференции: “Качество в производственных и социально-экономических системах”, 2016 – С.183–185.
9. Mulin Yu. I. Phenomenological description of regularities of surface layers formation under electric – spark alloying / Yu. I. Mulin, L. A. Klimova, D.V. Yarkov // Article, 2000.

10. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева – М.: Наука, 1986. – 276 с.
11. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323с.
12. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко – М.: изд. АН МССР, 1959. – 183с.
13. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.В.Сычев – К. Наук. Думка, 1976. – 220с.
14. Ковришкін М.О. Методи формування покриттів на різальному інструменті / М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко, С.О. Довжук // Техніка в сільсько господарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Кіровоградський національний технічний університет, 2010 – Вип. 23. – С. 344–351.
15. The anode material selection for electrosparkal loying (ESA) andmasstransition phenomena / Zahid Ziyadkhan Sharifov, Farid Gurbanov // The international journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation / Azerbaijan State Marine Academy, Baku, 2017 – Volume 11 – №4 – pages623–626.
16. Лобачова Г.Г. Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хімікотермічною обробкою: автореф. дис. Наздобуття наук. Ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Г.Г. Лобачова. – Київ, 2012. – 20 с.
17. Surface hardening of metallic alloys by electrospark deposition followed by plasma nitriding / M.A. Bejar, W. Schnake, W. Saavedra, J.P. Vildosola // Journal of Materials Processing Technology, 2006 – Volume 176 – Issues 1-3 – pp. 210–213.

18. Тугоплавкий металл вольфрам. [Электронный ресурс] – Електронні текстові дані. – Режим доступу:<http://www.metotech.ru/volfram-opisanie.htm>, вільний. – (дата звернення: 20.04.2021). – Метотехніка.
19. Диаграмма состояния системы углерод-вольфрам (C-W). [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniya-sistemy-uglerod-volfram-c-w>, свободный – (дата обращения: 22.04.2021). – Заголовок с экрана.
20. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем/ под общей реакцией Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение, 1996. –Т. 1 – С. 778–779.
21. Nikolenko S.V. Investigation of Coatings Produced by the Electrospark machining method of steel 45 with electrodes based on carbides of tungsten and titanium / S.V. Nilolenko // Properties of metals and physical chemistry of surface, 2017 – 53(No.5) – pp. 543–549.
22. Влияние электроискрового легирования вольфрамового твердого сплава на его износ и коррозионную стойкость / И.А. Подчерняева, А. Панасюк, В.А. Лавренко, А.И. Юга, В.И. Березанская / Порошковая металлургия и металлокерамика, 1999. – Том 38. – Вип.5–6 – С. 250–253.
23. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем под общей реакцией / Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение, 1996. –Т. 2 – С. 578–580.
24. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / Банных О. А., Будберг П.Б., Алисова С. П. и др. Металлургия, 1986 г
25. Хром как тугоплавкий, но очень полезный в строительстве металл [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://stroyres.net/metallicheskie/vidyi/tsvetnyie/hrom/ponyatie-poleznost-i-osobnosti.html>, свободный. – (дата обращения: 24.04.2021). – Заголовок с экрана.
26. Electrospark graphite alloying of steel surface: technology, properties and application / Viacheslav Tarelnyk, A. V. Paustovskii, Yu.G. Tkachenko,

35. Сталь 40Х [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа:<https://taktmetal.com/steels/40h>, свободный. – (дата обращения: 04.05.2021). – Заголовок с экрана.
36. Сталь 40Х (ХА) конструкционная легированная качественная [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа:<https://mmetallurg.ru/marochnik-stali/konstrukcionnaya/uglerodistaya-obuyknovennaya/40x/>, свободный. – (дата обращения: 04.05.2021). – Заголовок с экрана.
37. Физические методы восстановления деталей [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: https://studopedia.su/15_184645_elektroiskrovoye-legirovanie.html, свободный. – (дата обращения: 05.05.2021). – Заголовок с экрана.
38. Микротвердомер ЛОМО ПМТ-3М [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.lomo-microsystems.ru/Pmt-3M.html>, свободный. – (дата обращения: 05.05.2021). – Заголовок с экрана.
39. Микроскопы металлографические агрегатные ЕС МЕТАМ РВ [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: http://granate.ru/es_metam_rv.html, свободный. – (дата обращения: 06.05.2021). – Заголовок с экрана.
40. Охорона праці – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/dictionary/o/-ohorona_pratsi.html – Дата доступу: 26.05.2021
41. 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.
42. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист/ О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В Зацарний та ін.// За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472с.
43. ДБН В.2.5-28 2006 – Норми природного і штучного освітлення
44. ПУЕ-86 – Правила устройства электроустановок