

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

Навчально-науковий інститут матеріалознавства

та зварювання імені Є.О. Патона

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Формування комбінованих Nb, Co, Ti, C покриттів на поверхні
інструментальної сталі ХВГ методом електроіскрового легування»**

Виконала: студентка IV курсу, групи ФМ-91

Козюк Ірина Мирославівна _____

Керівник: доцент кафедри ФТМО, к.т.н.,

Іващенко Євген Вадимович _____

Консультант з економічно-організаційної частини:

доцент кафедри міжнародної економіки, к.е.н.,

ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці: завідувач кафедри ОППЦБ, д.т.н.,

проф. Левченко Олег Григорович _____

Консультант з питань нормоконтролю:

доцент кафедри ФМТО, к.т.н., Бурмак Андрій Петрович _____

Рецензент:

професор, д.т.н., завідувач кафедри ВТМтаПМ

Богомол Юрій Іванович _____

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

Студенка _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Козюк Ірині Мирославівні

1. Тема роботи «Формування комбінованих Nb, Co, Ti, C покриттів на поверхні інструментальної сталі ХВГ методом електроіскрового легування», керівник роботи Іващенко Євген Вадимович, доцент кафедри ФМТО, к.т.н., затвержені наказом по університету від «01» червня 2023 р. №2122-с
2. Термін подання студентом роботи 10.06.2023
3. Вихідні дані до роботи зразки сталі ХВГ з покриттям, результати переддипломної практики.
4. Зміст роботи
 - а) аналіз літературних джерел що стосуються тематики роботи; обґрунтування вибору матеріалів; опис процесу обробки зразків; вибір та опис методів

дослідження; опис та аналіз результатів дослідження; висновки за результатами роботи.

б) охорона праці: аналіз шкідливих факторів та розгляд методів їх усунення.

в) організаційно-економічна частина: розрахунок витрат на проведення НДР

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) : 82 сторінки, 29 рисунків, 60 джерел.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП та безпеки в НС	завідувач кафедри ОППЦБ, д.т.н., проф. Левченко Олег Григорович		
Економічно-організаційний розділ	доцент кафедри міжнародної економіки, к.е.н., ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович		

7. Дата видачі завдання 17.04.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання	17.04.2023	
2	Написання літературного огляду	18.04.2023 – 08.05.2023	
3	Освоєння методики дослідження	18.04.2023 – 08.05.2023	
4	Виконання експериментальних досліджень	18.04.2023 – 08.05.2023	
5	Отримання результатів та їх обговорення	08.05.2023 – 29.05.2023	
6	Підготовка четвертого та п'ятого розділів	29.05.2023 – 09.06.2023	
7	Оформлення роботи	10.06.2023	
8	Попередній захист	14.06.2023	
9	Захист на засіданні ЕК	20.06.2023	

Студентка

Ірина КОЗЮК

Керівник

Євген ІВАЩЕНКО

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 82 сторінка, 29 рисунків, 60 джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВОЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), ЕЛЕКТРОДИ Nb, Co, C, Ti, ЛЕГОВАНИЙ ШАР, СТАЛЬ ХВГ

Об'єкт досліджень: покриття, сформовані електроіскровим легуванням електродами Nb, Co, C, Ti на поверхні сталі ХВГ.

Мета досліджень: дослідити вплив послідовності електроіскрової обробки електродами Nb, Co, C, Ti поверхні сталі ХВГ на мікроструктуру, мікротвердість та рентгенофазовий аналіз покриттів, сформованих такою обробкою.

Методи досліджень і апаратура:

- гравіметричний аналіз проведений з використанням електронних лабораторних вагів «AXISAD 50» під час проведення ЕІЛ на установці “ЕЛІТРОН– 26А”;
- мікроструктурний аналіз проведений з використанням оптичного мікроскопу МЕТАМ РВ -21;
- мікродюрOMETричний аналіз проведений з використанням мікротвердоміру ПМТ-3М;
- рентгеноструктурні дослідження проведено з використанням дифрактометру RIGAKU-ULTIMA IV.

Практичне значення: проведений аналіз експериментальних даних може бути використаний для покращення якості або відновлення поверхні виробів зі сталі ХВГ та забезпечення їх довготривалої експлуатації.

ABSTRACT

Thesis: 82 pages, 29 figures, 60 sources.

ALLOYED LAYER, ELECTRO-SPARK ALLOYING (ESA), ELECTRODES Nb, Co, C, Ti, STEEL 107WCR5

Object of research: coatings formed by electrospark alloying with Nb, Co, C, Ti electrodes on the surface of 107WCR5 steel.

The purpose of the research: to investigate the effect of the sequence of electrospark treatment with Nb, Co, C, Ti electrodes of the surface of 107WCR5 steel on the microstructure, microhardness and X-ray phase analysis of the coatings formed by such treatment.

Research methods and equipment:

- gravimetric analysis carried out using electronic laboratory scales "AXISAD 50" during EIL at the "ELYTRON-26A" installation;
- microstructural analysis was carried out using a METAM RV-21 optical microscope;
- microdurometric analysis was carried out using a PMT 3M microhardness tester;
- X-ray structural studies were carried out using a RIGAKU-ULTIMA IV diffractometer.

Practical significance: the conducted analysis of experimental data can be used to improve the quality or restore the surface of 107WCR5 steel products and ensure their long-term operation.

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Фізична суть методу електроіскрового легування	12
1.2 Характеристика ЕІЛ, як методу формування покриттів	15
1.3 Основні способи електроіскрового легування.....	17
1.4 Зміцнення сталі ХВГ та їй подібних за допомогою ЕІЛ.....	18
1.5 Вплив елементів легування на властивості покриттів	19
1.6 Висновки до розділу 1	21
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Матеріал дослідження	23
2.2 Прилад “ ЕЛІТРОН– 26А ” та технічні параметри проведення ЕІЛ	24
2.3 Гравіметричний аналіз	26
2.4 ДюрOMETричний аналіз.....	27
2.5 Мікроструктурний аналіз.....	30
2.6 Рентгенофазовий аналіз	31
2.7 Висновки до розділу 2	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	33
3.1 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Nb, Co, Ti, C.....	33
3.1.1 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Co - Nb - C –Ti.....	34
3.1.2 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Nb-C-Ti-C-Co	38
3.1.3 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Co-Nb-Co-C-Ti-C	41
3.1.4 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Co-Nb-C-Ti-C-Co	45
3.2 Висновки до розділу 3	49

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ.....	51
4.1 Науково-технічна актуальність НДР	51
4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР	51
4.2.1 Витрати на оплату праці	52
4.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	53
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	54
4.2.4 Енергоносії для проведення досліджень	55
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання.....	55
4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій.....	55
4.2.7 Витрати на службові відрядження	55
4.2.8 Інші прямі невраховані витрати	55
4.2.9 Накладні витрати	56
4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	57
4.3 Науково-технічна ефективність НДР	58
4.4 Висновки до розділу 4.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні	63
5.2 Аналіз повітря	65
5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку	66
5.4 Аналіз освітлення	67
5.5 Електробезпека	68
5.6 Пожежна безпека	69
5.7 Алгоритм дій у випадку "Повітряної тривоги" за сигналом цивільного захисту	72
5.8 Висновок до розділу 5	74
ВИСНОВКИ	75
CONCLUSIONS	76
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	77

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЕІЛ – електроіскрове легування

ХТО – хіміко-термічна обробка

МЕП – міжелектродний проміжок

НДР – науково-дослідницька робота

ВСТУП

Постійний розвиток промисловості та виникнення нових технологій є однією з причин зростання попиту на матеріали, які мають покращені функціональні властивості та можуть забезпечити кращу їх поведінку за необхідних умов. Можна виділити один з основних напрямків для покращення властивостей, а саме – підвищення зносостійкості та опору корозії металевих конструкцій та деталей машин, які мають стратегічне значення у багатьох промислових галузях. Один з варіантів для продовження експлуатаційного ресурсу матеріалів шляхом зміцнення робочих поверхонь є метод електроіскрового легування (ЕІЛ). Переваги ЕІЛ перед іншими електрофізичними методами - це можливість переносу твердих сплавів на оброблювану поверхню без деформації та з високою міцністю зчеплення.

Ця робота присвячена дослідженню формування покриттів на сталі ХВГ методом ЕІЛ з різною комбінацією електродів, виготовлених із Nb, Co, Ti, C.

Схожий сплав, а саме сплав системи Co-Ti-Nb-C, використовується для зміцнення бандажних полиць лопаток авіаційних двигунів, шляхом напайки пластин із зносостійкого матеріалу сплаву ВЖЛ-2. Використання таких пластин подовжує міжремонтний ресурс лопаток, але як показали дослідження не більше ніж 1000 годин, у зв'язку з низькою температурою початку плавлення сплаву (1220 °C) та збільшення зношування при температурах > 900 °C.

Таким чином виникає завдання знаходження сплаву з кращими характеристиками для умов роботи за високих температур. Кобальт було обрано основою досліджуваних сплавів так як він утворює з карбідами тугоплавких з'єднань евтектику, яка є передумовою до отримання матеріалу який має пластичну основу, але армованої кристалами фази яка має зміцнити вихідний сплав. Карбіди титану та ніобію є більш дешевшими ніж інші тугоплавкі метали IV-V груп періодичної системи елементів, але, разом з цим, вони відповідають заявленим вимогам евтектичної реакції кристалізації на зміцнення. Кобальт-карбідні евтектики мають вищі характеристики корозійної стійкості та температури плавлення[37].

Сталь ХВГ, яка має вміст до 0,8 % вуглецю, що позитивно впливає на її характеристики міцності, тому сталева продукція з ХВГ широко використовується в різних сферах промисловості – з неї виготовляють ріжучий інструмент, інструмент для утримування заготовок та інструментів, для штампування та створення ріжучої кромки. Тому питання покращення міцнісних характеристик виробів з ХВГ є доволі актуальним. Обрання для цієї мети методу ЕІЛ спричинений простотою устаткування, яке має ручне управління та наявністю великої кількості електродів, перенесення матеріалу з яких на виріб значно покращує його експлуатаційні спроможності за рахунок покращення механічних та корозійних властивостей поверхні.

У рамках цього дослідження, було проаналізовано ряд наукових статей, що розглядають різні аспекти формування покриттів на сталі методом ЕІЛ. Відомо, що параметри процесу, такі як матеріали електродів та попередня обробка основи - впливають на мікроструктуру, твердість та зносостійкість отриманих покриттів. Важливим аспектом дослідження є порівняння різних покриттів на основі Nb, Co, C та Ti, їх механічних та корозійних характеристик.

Мета даної роботи - отримання методом ЕІЛ покриттів на основі Nb, Co, C та Ti на поверхні сталі ХВГ та проведення дослідження впливу послідовності нанесення елементів на кінетику процесу, мікроструктуру та мікротвердість поверхневих шарів металу.

В результаті роботи потрібно визначити режими, які є більш перспективними для отримання найкращих властивостей, а саме:

- будуть мати високу мікротвердість;
- бездефектну мікроструктуру.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- знайти та опрацювати наукові публікації за темою дослідження;
- ознайомитись з методикою проведення ЕІЛ та методами дослідження;
- провести комбіноване ЕІЛ сталі ХВГ (з гравіметричним аналізом);
- виготовити шліфи і провести мікроструктурний, дюрOMETричний та рентгеноструктурний аналізи.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Ще у 1943 році Лазаренко Б.Р. винайшов новий метод хіміко-термічної обробки – електроіскрове легування [1, 2] і з того часу у матеріалознавстві та технології покриттів відмічається значний інтерес до формування функціональних покриттів на металевих поверхнях. Суть ЕІЛ полягає у зміцненні зразку матеріалом аноду за допомогою електричних розрядів які створюються імпульсами з високою частотою повторення в діапазоні (1–100) кГц [3, 4]. Метод ЕІЛ має наступні особливості:

- матеріал аноду залишається на катоді міцно зчепленим з ним;
- для легування можна обирати обмежену зону матеріалу, інші ділянки поверхні можна залишати незмінними;
- для ЕІЛ непотрібне важке, габаритне обладнання, так як технологія досить проста, а інструменти легкі та нескладні в експлуатації [1].

До недоліків методу можна віднести, наприклад, високу швидкість зношення електроду [5], пошкодження поверхневого шару матеріалу та утворення тонкого шару із зміненою структурою внаслідок теплового впливу. Щоб покращити процес та нівелювати негативні моменти методу проводяться постійні дослідження які включають впровадження інноваційних методів ЕІЛ, таких як використання ультразвукових коливань [6] та магнітних полів [7].

ЕІЛ покриття відіграють ключову роль у підвищенні довговічності, зносостійкості та корозійної стійкості металевих виробів та конструкцій, які використовуються в різних галузях промисловості, таких як автомобілебудування, енергетика, хімічна промисловість та інші.

Сталь ХВГ широко використовується у виготовленні різних виробів та конструкцій, які зазнають значних навантажень та корозійних впливів. Застосування методу ЕІЛ для формування функціональних покриттів на сталі ХВГ дозволяє покращити її характеристики, а отже, збільшити ефективність використання таких виробів та конструкцій.

Проводяться дослідження властивостей покриттів сформованих методом ЕІЛ з використанням різних елементів легування (електродів), зокрема Nb, Co, C

та T_i . Ці елементи, як зазначено у дослідженнях, можуть покращити мікроструктуру, механічні та трибологічні властивості покриттів. Це забезпечує збільшення ефективності експлуатації металевих виробів, зменшення зношування та подовження термінів служби. Окрім того, покриття, отримані методом ЕІЛ, можуть забезпечити кращий захист від корозії, що є особливо актуальним для відповідних галузей промисловості.

1.1 Фізична суть методу електроіскрового легування

Фізичну суть процесу ЕІЛ полягає в наступному: газ між анодом та катодом під дією електричного поля перестає бути діелектриком – між електродами виникає імпульсний електричний розряд та, як наслідок, викид в оточуючий простір порції матеріалу електроду (так звана електрична ерозія). Цей процес є, до відомої міри, контрольований, тобто змінюючи умови ми можемо впливати на кількість порції матеріалу та на те, щоб ерозія відбувалась переважно на аноді [8].

При кожному розряді, яких може бути нескінченна кількість підряд, відбувається викид матеріалу аноду та подальше осадження його на поверхню катода (за виключенням обробки в рідині). Цей механізм і є основою ЕІЛ [1].

При великій кількості імпульсів та переміщенні аноду по площині матеріалу, який необхідно обробити, буде сформоване покриття, яке збільшує масу та товщину матеріалу. Так як при одинарному розряді на поверхні матеріалу формується «лунка» (рис. 1.1), то їх сукупність формує зубчасту структуру, профіль якої можна змінювати, змінюючи швидкість руху електроду [9].

Загальна схема процесу ЕІЛ наведена на рис. 1.2. Процес ЕІЛ починається з моменту зближення електроду (анод) та зразку (катод). При «пробійній» відстані між ними йде розвиток іскрового розряду, який триває ($10^{-6} - 10^{-3}$) с.

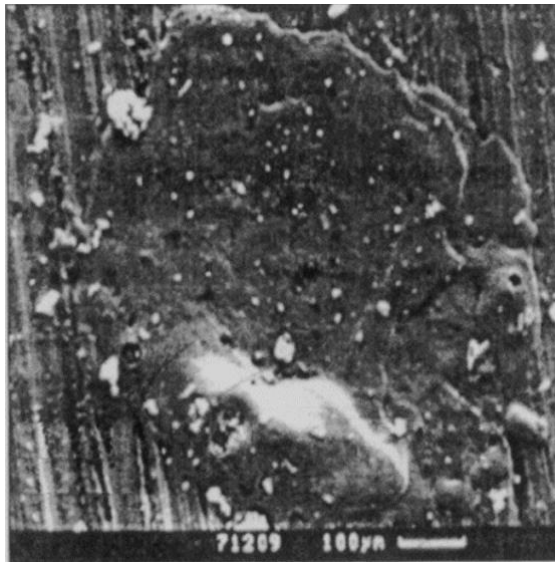
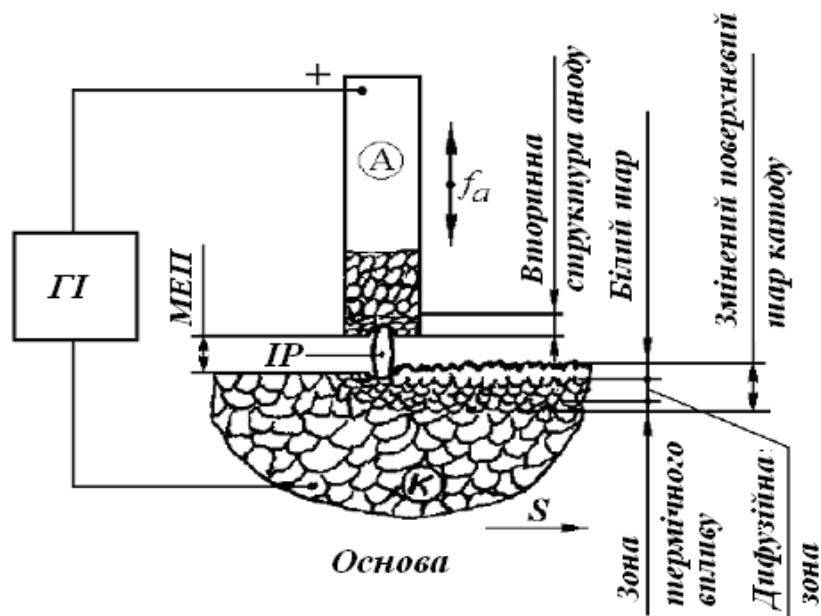


Рисунок 1.1 – Характерна структура, що утворюється на катоді, в результаті одного імпульсу ЕІЛ [2]



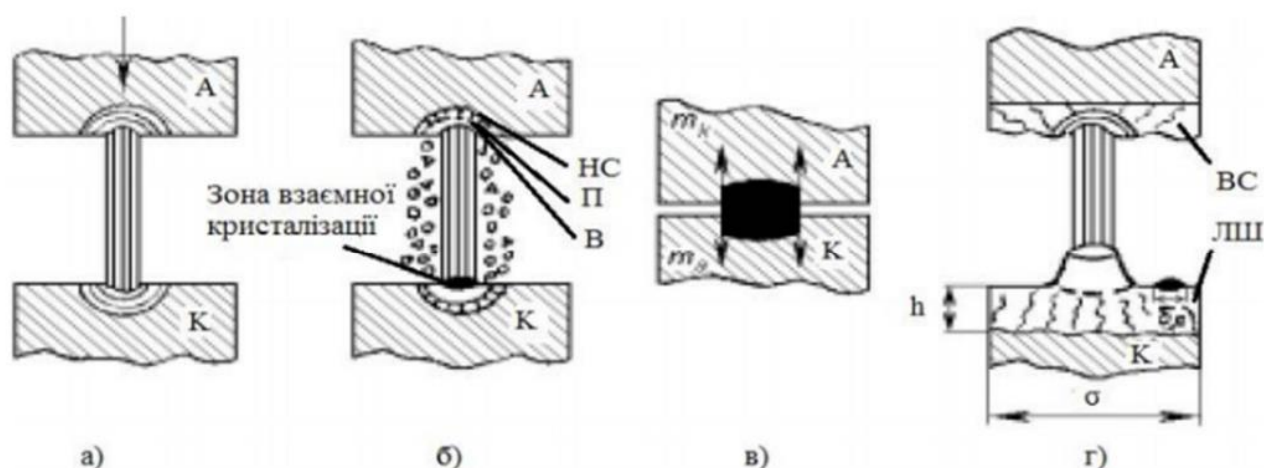
ГІ – генератор імпульсів; МЕП – міжелектродний проміжок; ІР – іскровий розряд; А – анод (компактний електрод); К – катод (деталь); f_a – частота вібрації аноду; S – напрямок подавання деталі

Рисунок 1.2 - Загальна схема процесу ЕІЛ (модель Лазаренко) [1]

Структура легованого прошарку (покриття), одержаного методом ЕІЛ складається з трьох шарів [1]:

- термодифузійна зона покриття та основного матеріалу;
- шар, сформований з фрагментів застиглого металу основи та складних хімічних сполук, інтерметалідів, нітридів, карбідів, оксидів, що утворилися в результаті взаємодії з середовищем, а також структури гартування;
- “білий” шар, який являє собою твердий розчин легуючих елементів, або елементів, що містяться в електродному матеріалі.

Схематичне зображення узагальненої моделі ЕІЛ представлено на рис. 1.3. Після аналізу теоретичних та експериментальних результатів ЕІЛ, Верхотуровим була запропонована більш докладна фізична модель [10].



а – пробій; б – утворення «лунки»; в – контакт електродів; г – формування на аноді вторинної структури та легованої поверхні на катоді;

Рисунок 1.3 – Узагальнена схема процесу ЕІЛ [5]

Як і в моделі Лазаренко [1], дана модель ЕІЛ [11] ґрунтується на явищі полярного перенесення частинок металу з анода на катод під час розриву електричного ланцюга. Електричний розряд відбувається при високій напрузі [9] між катодом К і анодом А через невеликий проміжок, залишений між ними (рис. 1.3, а). Потік електронів прямує від катода через повітряний проміжок до

анода. Кількість електронів, по дорозі їх руху, збільшується завдяки процесу «вибивання» електронів із молекул повітря. Анод «бомбардується» лавиною електронів, у результаті відбувається пробій повітряного проміжку і з'являється іскра. При цьому сила струму значно зростає [12]. Розвиток розряду в іскровому проміжку супроводжується появою ударної хвилі. При розведенні електродів після пробою повітряного проміжку, струм у ланцюгу миттєво припиняється. Періодично з'єднуючи та розводячи катод та анод, можна повторювати описаний процес. Тобто основні етапи ЕІЛ включають [1, 13, 14]:

- 1) ініціювання іскри між електродом та оброблюваною поверхнею;
- 2) розширення та розвиток електричного розряду, що призводить до створення плазми з високою температурою та тиском;
- 3) плавлення частинок електродного матеріалу та оброблюваної поверхні під дією плазми, а також утворення плавленої зони;
- 4) гасіння розряду, згущення та затвердіння плавленої зони, формування покриття на оброблюваній поверхні;
- 5) утворення оксидів, нітридів та карбідів в процесі відновлення та реакції з електролітом.

1.2 Характеристика ЕІЛ, як методу формування покриттів

Наведемо основні параметри електроіскрового легування, які мають вплив на якісні характеристики покриття, а також поверхні, яка підлягає обробці [1, 15, 16]:

- 1) Напруга та струм іскрового розряду: визначають енергетичні параметри процесу і мають вплив на температуру плазми, розмір та глибину плавленої зони, а також характеристики покриття яке підлягає обробці.
- 2) Енергія електричного розряду (W_p), змінюючи яку можна впливати на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні характеристики виробів як оброблюваної поверхні так і легуючого елемента .

$$W_p = K \times \frac{C^2 \times U}{2}, \quad (1.1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у розрядному контурі ($K \sim 0,5-0,7$);

C – ємність конденсаторів (Ф);

U – напруга на конденсаторах (В).

3) Розрядний час - впливає на час експозиції матеріалів під високою температурою, відповідно визначає швидкість процесу та якість покриття.

4) Відстань між електродом та оброблюваною поверхнею - визначає інтенсивність процесу та однорідність покриття.

5) Склад електроліту (для проведення ЕІЛ в рідині) - впливає на процеси розчинення та відновлення, а також утворення оксидів, нітридів та карбідів у покритті [17].

6) Тип та склад матеріалу електрода - визначає хімічний склад та структуру покриття, а також механічні та функціональні властивості[18].

ЕІЛ має ряд переваг порівняно з іншими методами формування покриттів на металевих поверхнях [1, 18]:

- високу енергетичну щільність процесу, що дозволяє отримати тверді та міцно зчеплені покриття;
- можливість легування широкого спектра матеріалів, включаючи метали, кераміку та композити;
- відносно низьку вартість обладнання та енергоспоживання;
- контрольовані параметри процесу, що дозволяють отримати покриття з різними характеристиками;
- мінімальну термічну деформацію оброблюваної поверхні та збереження структури базового матеріалу.

Однак, ЕІЛ також має деякі недоліки [1, 19]:

- обмежений робочий простір (розмір оброблюваної поверхні), що

ускладнює обробку великих деталей;

- потребу в контактному з'єднанні з оброблюваною поверхнею, що може призвести до корозії або механічних пошкоджень;
- неможливість застосування для обробки непровідних матеріалів без спеціальних модифікацій;
- відносно низька швидкість процесу порівняно з іншими методами обробки;
- потенційний вплив на структуру та властивості базового матеріалу під час високотемпературної обробки.

1.3 Основні способи ЕІЛ

Електроіскрова обробка може виконуватись в різних середовищах – газових, рідких та порошкових [1]. Промислова обробка зазвичай проводиться в різних газових середовищах, як то суміш повітря, повітря з надмірною домішкою вуглекислого газу, водяній парі, азоті, сірчаній кислоті, водні, аміаку і т.п. Також розповсюджена практика використання радіоактивних ізотопів криптону або інших. Для рідких середовищ варіантів є менше – зріджене повітря, аміак, азот, гас, гліцерин [20]. Для порошкових середовищ найпоширенішим є використання наночастинок металу, наприклад алюмінію чи заліза.

Основні способи електроіскрового легування включають, наведені нижче:

1) ЕІЛ з використанням дроту як анодного матеріалу [21]. При цьому методі дріт з матеріалу, який необхідно нанести на матеріал, слугує анодом, а оброблювана поверхня - катодом. Електрод, що обертається, забезпечує рівномірне нанесення покриття.

2) ЕІЛ з використанням порошку [22], як анодного матеріалу. Цей метод дозволяє отримати покриття з різноманітних матеріалів, включаючи ті, що мають високу температуру плавлення. Порошок поміщається в спеціальний резервуар і подається до зони розряду.

3) ЕІЛ з використанням електроду з порошковим наповнювачем [23]. При цьому методі анодом слугить спеціальний композитний електрод, в якому

порошковий наповнювач (матеріал для легування) знаходиться всередині[24]. Під час процесу ЕІЛ, матеріал наповнювача переходить на оброблювану поверхню.

ЕІЛ можна виконувати й використовуючи різні присадки [25], коли на сформовану поверхню наносять спеціально створену пастоподібну суміш. Наприклад, автори [26] в таку суміш додавали – 80 % карбиду вольфраму, 10 % нікелю і 10 % вазеліну. Після нанесення такої суміші на поверхню зразків із сталі марок 12X18H10T, 30X13 і 40X, вони проводили ЕІЛ графітовим електродом при енергії розряду в діапазоні $W_p = (0,5 - 4,6)$ Дж. При чому автори комбінували нанесення методом ЕІЛ мідного шару на сталь і вказану пастоподібну суміш, отримуючи, як результат, зміцнену поверхню без розшарувань з мікротвердістю до 10350 МПа.

1.4 Зміцнення сталі ХВГ за допомогою ЕІЛ

Проведений пошук наукової літератури по зміцненню поверхні виробів із сталі ХВГ методом ЕІЛ показав зацікавленість в такому процесі [27] також з використанням аналогів сталі ХВГ, табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Закордонні аналоги матеріалу ХВГ [28]

США	Німеччина	Японія	Франція	Євросоюз	Італія	Іспанія	КНР	Швеція	Пів. Корея
-	DIN, WNr	JIS	AFNOR	EN	UNI	UNE	GB	SS	KS
01 T31507	1.2419 105WCr6	SKS2 SKS3 SKS31 SKSA	105WC13 105WCr5 106WCr6 90MCW5	107WCR	107WCr	105WCR	CrWMn	2140	STS2 STS3 STS31

В роботі [29] розглянутий вплив добавок порошку самофлюсуючого сплаву і ряду перехідних елементів в електродному матеріалі Co-WC на процес модифікації поверхневого шару та його властивості при механізованому легуванні сталі ХВГ [30]. Крім того, дослідження було проведене з використанням електродів з нікелю, цирконію, вольфраму та титану. Останній

був у вигляді сплаву з додаванням (8,0...12) % по масі самофлюсуючого матеріалу «Колмоной». Було встановлено, що саме використання в ЕІЛ останнього електроду дозволяє значно підвищити мікротвердість поверхневого шару деталі в порівнянні з нанесенням покриття стандартним електродом (відповідає значенню мікротвердості $H_{\mu} = (29...30)$ ГПа).

В статі [31] автори досліджували ЕІЛ з точки зору оптимальних технологічних режимів вказаного процесу. Такими параметрами процесу автори обрали силу струму та частоту. Ними було встановлено, що при низьких значеннях сили струму (0,6 - 0,8) А (1-3 режими установки “ЕЛІТРОН-10”) спостерігалось прилипання електродів до поверхні зразка, що вони пояснюють недостатньою тепловою енергією імпульсу. Одним з матеріалів зразків, що досліджувались, була сталь ХВГ [32]. Робота авторів полягала у проведенні за різними технологічними режимами (при різних значеннях сили струму та частоти) процесу легування з дослідженням порівняльних технологічних показників процесу. Ними було проведено методом ЕІЛ нанесення тврдосплавного покриття ВК6 на основу зразків з інструментальних сталей на різних технологічних режимах. Автори надали технічні рекомендації для наплавлення матеріалу на сталь ХВГ різної товщини [33].

Зазначимо, що для відновлення ушкоджених ділянок методом ЕІЛ, використовують технологію нанесення на виріб металу анода від одного електроду [13]. Тоді, як використання ЕІЛ для створення функціональних покриттів вимагає застосування комбінації анодів [34, 35].

1.5 Вплив різних елементів легування на властивості покриттів

Як відомо [36], легування — це введення в розплавлені або тверді метали легуючих матеріалів, метою якого є отримання сплаву заданого хімічного складу, який забезпечує готовий виріб необхідними фізичними властивостями. Наприклад, при використанні карбиду-вольфраму (WC-Co) головним чином через його високу твердість та міцність було покращено стійкість до зношування досліджуваного матеріалу, та збільшення його залишкових напружень [13]. Як і

у випадку використання TiC як електроду [34] спостерігалось значне покращення характеристик міцності поверхневого шару. В загальному ж легуючі елементи можуть впливати по-різному на структуру та властивості сталі [16, 15, 16, 17, 35], наприклад:

- змінювати температуру критичних точок та фазових перетворень у сталі;
- впливати на розчинність вуглецю в аустеніті;
- створювати нові фази ;
- розчиняються в залізі, змінюючи період кристалічної ґратки, і, як наслідок, змінювати фізичні властивості сталі;
- впливати на розмір зерен аустеніту.

Легування поверхні сталей методом ЕІЛ має свої особливості, тому утворення розчинів чи фаз в легovanому шарі може відрізнятись від процесів, що йдуть при інших видах хіміко- термічних обробок (ХТО) [17].

Відомо з [37], що сплави системи Co-NbC-TiC, які утворюються з евтектичною реакцією кристалізації в композиційному матеріалі, дозволяють отримати матеріал з підвищеною зносостійкістю.

В дослідженні [39] було запропоновано використовувати багат шарові електроди (MLE) для покриття шару карбиду титану (TiC) на поверхні нікелевої заготовки за допомогою електророзрядного покриття (EDC). MLE складався з шарів титану (Ti) і графіту (Gr) з однаковими розмірами, розташованими по черзі. У цьому дослідженні порівнювалися обидва електроди цього нового типу та звичайні електроди масового типу. Результати експерименту показали, що шар Gr MLE підвищив локальну концентрацію вуглецевого елемента. Крім того, вуглецевий елемент з високою концентрацією може збільшити поєднання Ti і вуглецю (C) для нанесення шару TiC, що підвищує твердість поверхні шару з покриттям [18]. Ця концентрація вуглецю також зменшила шорсткість поверхні шару з покриттям, зменшила утворення мікротріщин і підвищила стабільність електричного розряду та швидкість нанесення покриття .

В статі [38] досліджено структуру, фазовий склад та властивості серійного сплаву ХТН-61 промислового виробництва, розробленого в ІМФ НАН України

для захисту від високотемпературного зносу контактуючих поверхонь лопаток турбіни газотурбінного двигуна. Визначено оптимальне співвідношення вмісту в сплаві ніобію та вуглецю, що забезпечує температуру плавлення вище 1300 °С. Авторами показано, що жаростійкість та зносостійкість сплаву оптимального складу при температурах до 1100 °С обумовлені структурою, сформованою в процесі рівноважної кристалізації евтектики кобальту з карбідом ніобію [19].

В статі [39] автори досліджували пошарову наплавку зварюванням на поверхню сталі матеріалу електродів Nb, Ti C при різному вмісту Ti в покритті – від 0,15 мас.% до 0,41 мас.%. Зразки вивчались на адгезію шарів та зношуваність. Авторами встановлено, що покриття з 0,15 мас. % Ti має найменші втрати на знос. Були також розраховані методом "з перших принципів", заснованим на теорії функціоналу густини (DFT), міжфазні властивості інтерфейсів (Nb, Ti) C/ α -Fe. Висновком з теоретичних розрахунків авторів і проведених експериментів є те, що зростання зношування відбувається завдяки утворенню на межах STiNb-Fe, CNbTi-Fe і CNb-Fe слабких ковалентних зв'язків Fe-M. В поверхнях NbC-Fe, NbTiC-Fe і TiNbC-Fe утворюється міцний ковалентний зв'язок FeC і MC можуть бути виявленими на межах розділу (Nb,Ti)C/ α -Fe. На цих поверхнях також утворюються іонні зв'язки FeC.

В роботі [40] автори досліджували експлуатаційні властивості електроіскрових покриттів, сформованих ЕІЛ на зразках сталі Ст45 з використанням електродів WC-Co-Al₂O₃, одержаних спіканням наноструктурних порошоків. Підвищення механічних властивостей автори пояснюють наявністю в легованому шарі WC і W₂C і невеликої кількості Co₂C і Al₂O₃.

Не зважаючи на існування в науковій літературі робіт [37 – 41, 25], в яких підтверджується зростання зношуваності та твердості в шарах, що містять карбіди NbC, TiC, CoC, Co₂C, FeC, наявність досліджень відповідних покриттів, сформованих методом ЕІЛ, відсутня [20-29].

1.6 Висновок до розділу 1

Підсумовуючи результати літературного огляду, можна зробити висновок про те, що в науковій літературі є публікації досліджень, в яких проводять пошарове нанесення Nb, Ti, C, Co і наступний аналіз зношуваності та твердості отриманих покриттів. Але відсутні дані стосовно досліджень відповідних покриттів, сформованих методом ЕІЛ. Тому дослідження формування покриттів на сталі ХВГ методом ЕІЛ з різною комбінацією електродів, виготовлених із Nb, Co, Ti, C є актуальною задачею.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Об'єктом дослідження роботи є зразки, виготовлені зі сталі ХВГ у вигляді прямокутних паралелепіпедів розміром (10,3×11,6×5,1) мм, які були вирізані на токарному станку з прутка сталі відповідного розміру.

Метою дослідження було створити методом ЕІЛ покриття, які мають вищу, порівняно зі сталлю ХВГ, твердість. Для досягнення поставленої мети було виготовлено 4 зразки сталі ХВГ з пошаровим нанесенням методом ЕІЛ в повітрі на їх поверхню Nb, Co, Ti, C .

Перед проведенням ЕІЛ всі поверхні зразків були попередньо відшліфовані шліфувальним папером із зерном Р100 та Р600. Після проведення ЕІЛ для подальшого металографічного та дюрOMETричного аналізів виготовлялися поперечні шліфи зі зразків за стандартною методикою [41].

Хімічний склад сталі ХВГ, у відсотковому відношенні її складових, наведений в табл. 2.1, а температура критичних точок – в таблиці 2.2. Твердість відпалених виробів зі сталі ХВГ складає $HV 10^{-1} = 255$ МПа або HRC 64...69, згідно довідника [28], а густина – 7850 кг/м³. Термостійкість низьколегованих інструментальних сталей, до яких відноситься ХВГ, є низькою – 240 °С.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі ХВГ, у відсотковому відношенні її складових [30]

Елемент	Відсотковий вміст, %
C	0,9–1,05
Si	0,1–0,4
Mn	0,8–1,1
Ni	до 0,4
S	до 0,03
P	до 0,03
Cr	0,9–1,2
W	1,2–1,6
Cu	до 0,3
Fe	~94

Температура критичних точок наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Критичні точки сталі ХВГ [30]

Температура завершення перетворення фериту в аустеніт, A_{c3} , °C	Температура початку перетворення перліту на аустеніт при нагріванні, A_{c1} , °C	Температура початку евтектоїдного перетворення аустеніту на перліт в процесі охолодження, A_{r1} , °C	Точка, при якій починається мартенситне перетворення, M_n , °C
940	750	710	210

2.2 Прилад “ЕЛІТРОН– 26А” та технічні параметри проведення ЕІЛ

Для проведення ЕІЛ використовували ручну установку “ЕЛІТРОН– 26А”, зображення, якої наведено на рис. 2.1.



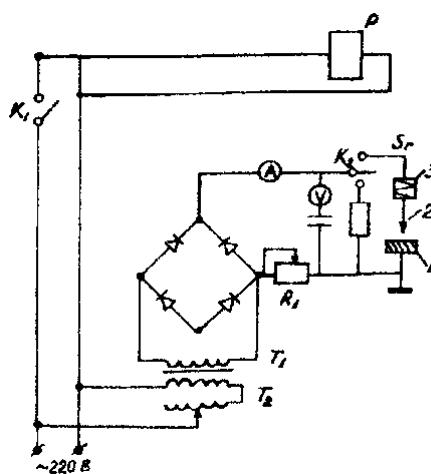
Рисунок 2.1 – Фотографія приладу “ЕЛІТРОН– 26А” [22]

Установка “ЕЛІТРОН– 26А” [42] містить генератор імпульсів, контакти з якого підключені до оброблюваної деталі (катода) та електрода, встановленого в електродотримачі електромагнітного вібратора (анода).

Установки для електроіскрового легування 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 [43].

Робота установки для електроіскрового легування 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 [43].

Для нанесення покриттів була використана стандартна лабораторна установка для електроіскрового легування “ЕЛІТРОН– 26А”, схема якої наведена на рис. 2.2.



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

Рисунок 2.2 – Електрична схема установки “ЕЛІТРОН– 26А” [44]

Принцип дії заснований на генеруванні електроіскрових розрядів між двома електродами (катодом – виробом, що обробляється, та анодом – матеріалом, призначеним для легування поверхні катода) [44].

На рисунку 2.2 зображена сама установка “ ЕЛІТРОН– 26А ”.

Для проведення ЕІЛ використовували наступний режим:

$$I = 1,5 \text{ А};$$

$$\tau = 180 \text{ с};$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}.$$

В якості анодів використовувався графіт марки МПГ – 6, який використовується для виготовлення технічної оснастки та Nb, Co, Ti високої чистоти (99,9 %) [44].

2.3 Гравіметричний аналіз

Як правило, під час проведення ЕІЛ проводять гравіметричний аналіз [45]. Гравіметричний метод аналізу полягає в вимірюванні маси електродів перед початком електроіскрової обробки та під час обробки, на кожній стадії процесу, з визначеним кроком. В даній роботі зважування проводилось через 30 секунд протягом 3 хвилин за допомогою електронних лабораторних вагів «AXISAD 50», рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд електронних лабораторних вагів «AXISAD50» [46]

З використанням гравіметричного методу були отримані експериментальні дані зміни маси катоду і аноду:

$$\Delta m_{ki}(t) = m_{ki}(t_{n+1}) - m_{ki}(t_n), \quad (2.1)$$

де t_{n+1}, t_n – час (n+1)-го та n-го вимірювання маси зразка;

а також приросту маси катоду і ерозії аноду:

$$\sum \Delta m_k = \sum \Delta m_{ki}, \quad (2.2) \quad 27$$

$$\sum \Delta m_a = \sum \Delta m_{ai}, \quad (2.3)$$

Приріст маси катоду ($\sum \Delta m_k$) та сумарну ерозію аноду ($\sum \Delta m_a$) визначали через кожні 30 секунд обробки.

За отриманими результатами будували криві приросту маси катоду $\sum \Delta m_k$ та ерозії аноду $\sum \Delta m_a$ залежно від тривалості обробки, [47].

2.4 ДюрOMETричний аналіз

Якість отриманого покриття, сформованого ЕІЛ, можна підтвердити дюрOMETричним аналізом [47], або аналізом на зношуваність [48]. Твердість методом Віккерса визначається за величиною відбитка, рис. 2.4, а, тобто за виміром діагоналей відбитку d_1 та d_2 , рис. 2.4, б. В якості індентора використовується алмазна чотиригранна піраміда з кутом при вершині 136° , рис. 2.4, в.

Діагональ відбитку d вимірюється за допомогою мікроскопа, встановленого на мікротвердомірі.

За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа, користуючись табличними даними приладу. Протяжність легованого шару та зони термічного впливу визначалися за кривими розподілу мікротвердості. Значення мікротвердості розраховували за формулою :

$$H_\mu = 1854 \times P \div (d_{\text{сер}} \times 0,3), \quad (2.4)$$

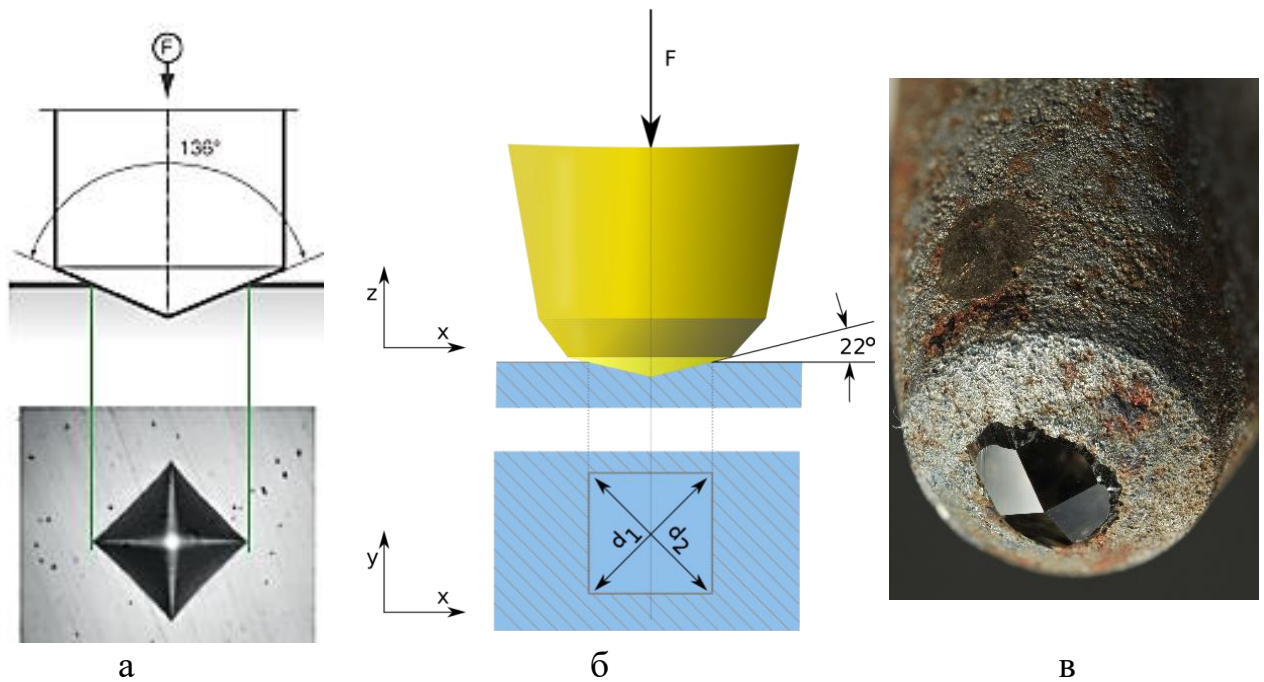
де H_μ – значення мікротвердості;

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 2.6 .

$$d_{\text{сер}} = (d_{i1} + d_{i2}) \div 2, \quad (2.5)$$

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



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 вимір діагоналей відбитку; в – вигляд індентора з алмазною пірамідкою

Рисунок 2.4 – Схема визначення твердості за Віккерсом [47]

Мікротвердість шліфів вимірювали на приладі ПМТ-3М (рис. 2.5) [49]. Вимірювання мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з квадратною підставою і двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 50 г протягом (8-10) секунд [47].



Рисунок 2.5 – Вигляд з зовні приладу ПМТ-3М [49]

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 :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{\text{сер}} - (d_{i1} + d_{i2})/2)}{n-1}}, \quad (2.7)$$

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

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

$$H_{\mu} = \frac{1,854 \cdot P}{(d_{\text{сер}} \pm \sigma_0)^2}, \quad (2.9)$$

де σ_0 – довірчий інтервал.

Відносна похибка вимірювання δH_{μ} визначається :

$$\delta H_{\mu} = \left| \frac{H_{\mu}(d_{cp}) - H_{\mu}(d_{cp} \pm \sigma_0)}{H_{\mu}(d_{cp})} \right| \times 100\% , \quad (2.10)$$

Абсолютна похибка :

$$\Delta H_{\mu} = H_{\mu}(d_{cp}) - H_{\mu}(d_{cp} \pm \sigma_0), \quad (2.11)$$

При навантаженні 50 г протягом (8-10) секунд.

2.5 Мікроструктурний аналіз

Підготовка поперечних шліфів потребує фіксації обробленого зразка, для цього була використана струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару. Шліфування відбувалося із застосуванням абразивного паперу різної шорсткості, з поступовим зменшенням розміру абразивних часток. Створення дзеркальної поверхні досягалося використанням полірувальної пасти (оксид хрому III) з подальшим переходом на полірування на воді. Отримана поверхня шліфу протравлювалась, з використанням 20 % розчин азотної кислоти в етиловому спирті.

Фотографування шліфів для наступного металографічного аналізу, здійснювалось на оптичному мікроскопі МЕТАМ РВ-21 [50], який зображений на рис. 2.6, при збільшенні від 100 до 400 разів.

Фото мікроструктури поверхневих ділянок зразків зроблено за допомогою фото-насадки DCM310 з відповідним програмним забезпеченням, яке передає зображення на комп'ютер.



Рисунок 2.6 – Металографічний мікроскоп МЕТАМ- РВ з верхнім розташуванням предметного столику [50]

2.6 Рентгенофазовий аналіз

З моменту відкриття Лауе в 1912 році рентгенівських променів в арсенал інструментів дослідника потрапив потужний прямий метод дослідження твердих матеріалів – рентгенофазовий аналіз. Він дає можливість отримати структурний аналіз, елементний склад, якісний та кількісний аналіз фазового стану речовини, ґрунтуючись на аналізі дифракційної картини, що виникає в результаті інтерференції рентгенівських променів, які розсіялись електронами атомів об'єкту.

Основні особливості РФА:

- дифракційна картина індивідуальна для кожної кристалічної речовини
- для кожної кристалічної фази є відповідний дифракційний спектр
- рентгendifракційний спектр утворюється при накладенні дифракційних спектрів індивідуальних фаз
- базуючись на дифракційній картині можна робити висновки про кількісні характеристики співвідношень кристалічних фаз. При чому чим інтенсивніший дифракційний спектр тим більший вміст фази в речовині.

Рентгенофазовий аналіз зразків був проведений за допомогою дифрактометра Rigaku Ultima IV з наступними параметрами:

- випромінювання рентгенівських хвиль $\text{Cu-K}\alpha$ з довжиною хвилі $\lambda = 1,5418740 \text{ \AA}$;

- напруга/струм на рентгенівській трубці 30 кВ/30 мА;
- монохроматор U4;
- геометрія зйомки - Брегга-Брентано;
- діапазон виміру кутів дифракції 2Θ - $10^\circ - 100^\circ$;
- крок сканування 0,04 градус, час на крок 0,1 с;
- параметри щілин (обмежуючих та первинних):
 - 1) ділення щілини - 1/2 градуса;
 - 2) ділення горизонтальної та вертикальної щілини - 10.00 мм;
 - 3) щілина розсіювання - 1/2 градуса;
 - 4) прямокутна щілина – 0,45 мм;

Ідентифікація фаз була здійснена на підставі файлів порошкової дифракції бази ICDD, яка використовується програмним комплексом PDXL, який інтегрований з дифрактометром Rigaku Ultima IV. Розмір ОКР та деформації були розраховані в програмному комплексі PDXL методом Вільямсона-Хола з використанням апроксимації дифракційних профілів функціями Лоренца.

2.7 Висновки до розділу 2

1. Дослідження результатів нанесення функціональних покриттів ЕІЛ на вироби зі сталі ХВГ доцільно здійснювати наступними методами:

- гравіметричний аналіз;
- мікроструктурний аналіз;
- мікродюрометричний аналіз.
- рентгенофазовий аналіз

2. Для з'ясування процесів фазоутворення в отриманому легованому шарі на сталі ХВГ методом ЕІЛ із застосуванням електродів Nb, Co, Ti, C проведено рентгенофазовий аналіз.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі ХВГ при різних послідовностях нанесення Nb, Co, Ti, C

З літературних даних відомо, що збільшення твердості і зносостійкості відбувається при збільшенні вмісту евтектичних карбідних кристалів у структурі кобальтових сплавів [37]. Максимум твердості та зносостійкості досягається у сплавах системи Co-(NbTi)C із структурою квазіевтектики при вмісті 16 мас.% – 17 мас.% (Nb,Ti)C [37]. Такі властивості обумовлені евтектичною структурою, в якій легований твердий розчин на основі кобальту армований дисперсними кристалами карбіду (NbTi)C.

Метою дослідження було пошук режимів ЕІЛ та послідовності нанесення Co, Nb, C, Ti для формування покриттів, які б мали таку ж структуру, як і в дослідженнях, а саме евтектичну структуру в якій легований твердий розчин на основі кобальту армований дисперсними кристалами карбіду (NbTi)C [37].

В даній роботі для зміцнення поверхні виробів зі сталі ХВГ було виготовлено 4 зразка пошаровим нанесенням методом ЕІЛ на повітрі на їх поверхню - Nb, Co, Ti, C в різній послідовності, табл. 3.1. Легування кожним електродом здійснювалось при:

- діючій напрузі $U = 60 \text{ В}$;
- струмі $I = 1,5 \text{ А}$;
- тривалістю 3 хв для кожного аноду (180 с).

Таблиця 3.1 – Схеми послідовності застосування електродів для ЕІЛ зразків зі сталі ХВГ

№ зразка	Електроди
1	Co-Nb-C-Ti
2	Nb-C-Ti-C-Co
3	Co-Nb-Co-C-Ti-C
4	Co-Nb-C-Ti-C-Co

3.1.1 Формування електроіскрового покриття на сталі ХВГ при послідовності нанесення Co – Nb – C – Ti

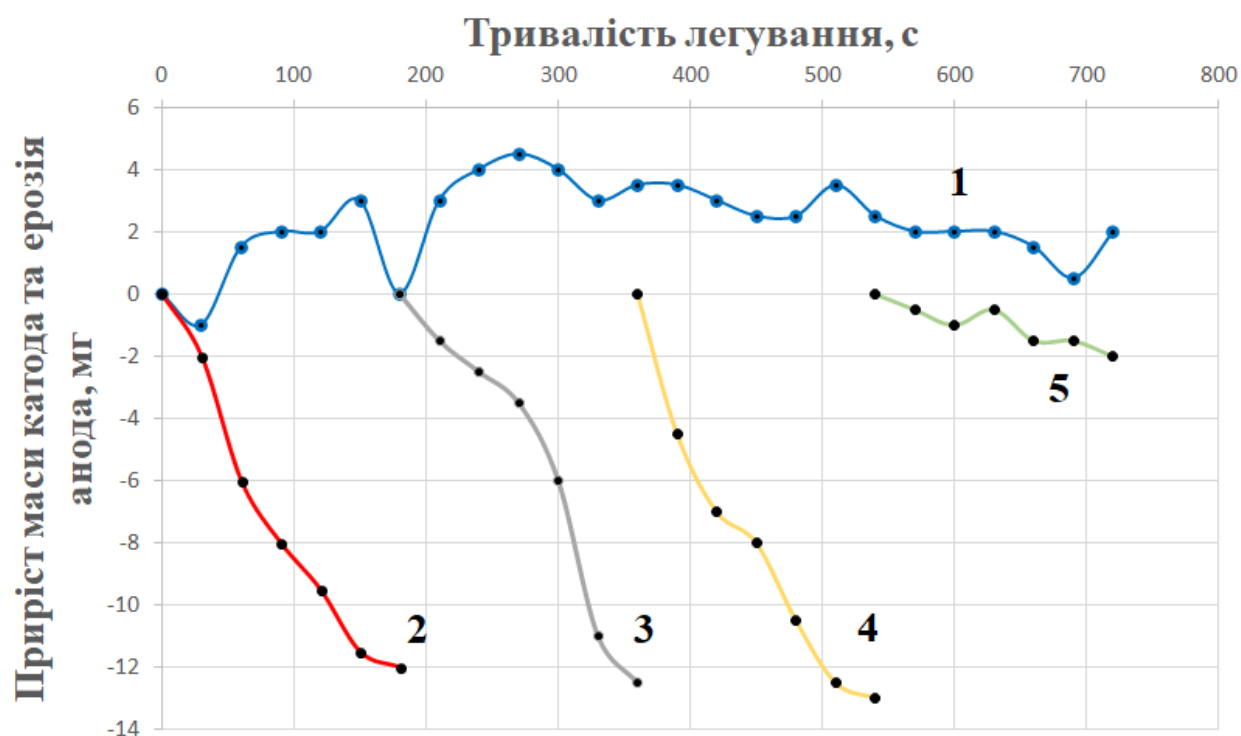
Під час проведення електроіскрового іскрового легування (ЕІЛ) виконувався гравіметричний аналіз, що передбачав зважування катоду і аноду кожні 30 секунд. Для проведення зважування використовувалася методика, описана в підрозділі 2.3. Після цього було розраховано зміну маси катоду і аноду за допомогою формул (2.3) та (2.4) відповідно, що дозволило визначити приріст маси катоду і ерозію аноду.

З отриманих часових залежностей ерозії аноду та приросту ваги катоду були визначені основні параметри процесу, зокрема:

- питома ерозія аноду та приріст маси катоду, які вимірювалися за кожну хвилину обробки;
- сумарна ерозія аноду та приріст маси катоду, що були виміряні за весь час проведення ЕІЛ;
- коефіцієнт перенесення матеріалу, який визначався як відношення приросту маси катоду до величини ерозії аноду на кожній хвилині проведення ЕІЛ.

З метою досягнення поставленої мети, яка була визначена в даній роботі, була досліджена кінетика формування покриття на поверхні сталі. На рисунку 3.1 наведені кінетичні криві ЕІЛ, які відображають послідовність проведення процесу легування за допомогою послідовного використання сполук Co-Nb-C-Ti.

На рисунку 3.1 видно, що крива приросту маси катоду перебуває у додатній області. Тобто протягом обробки крихкого руйнування шару не відбувається.



1 – залежність приросту маси катода від тривалості ЕІЛ; 2 – залежність ерозії Со-аноду від тривалості ЕІЛ; 3 – залежність ерозії Nb-аноду від тривалості ЕІЛ; 4 – залежність ерозії С-аноду від тривалості ЕІЛ; 5 – залежність ерозії Ті-аноду від тривалості ЕІЛ

Рисунок 3.1 – Кінетика масоперенесення при ЕІЛ сталі ХВГ у послідовності Со – Nb – С – Ті

Приріст маси катода на всіх стадіях легування збільшується, (рис. 3.1.) При легуванні Со – Nb – С – Ті відбувається масоперенесення матеріалу аноду на катод, оскільки відбувається збільшення маси катода.

Мікроструктурний аналіз дозволив виявити створення шару покриття товщиною близько 25 мкм. Відмічається відсутність дефектів будови на межі між поверхнею зразка та легованим шаром. Зображення отриманої мікроструктури з легованим шаром можна побачити на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Мікроструктура легованого шару сталі ХВГ після проведення ЕІЛ за схемою $\text{Co} - \text{Nb} - \text{C} - \text{Ti}$ товщиною 25 мкм

Проведений мікродюрOMETричний аналіз поверхневого легованого шару показав високі значення мікротвердості (21 ГПа) у поверхневій частині легованого шару (рис. 3.3).

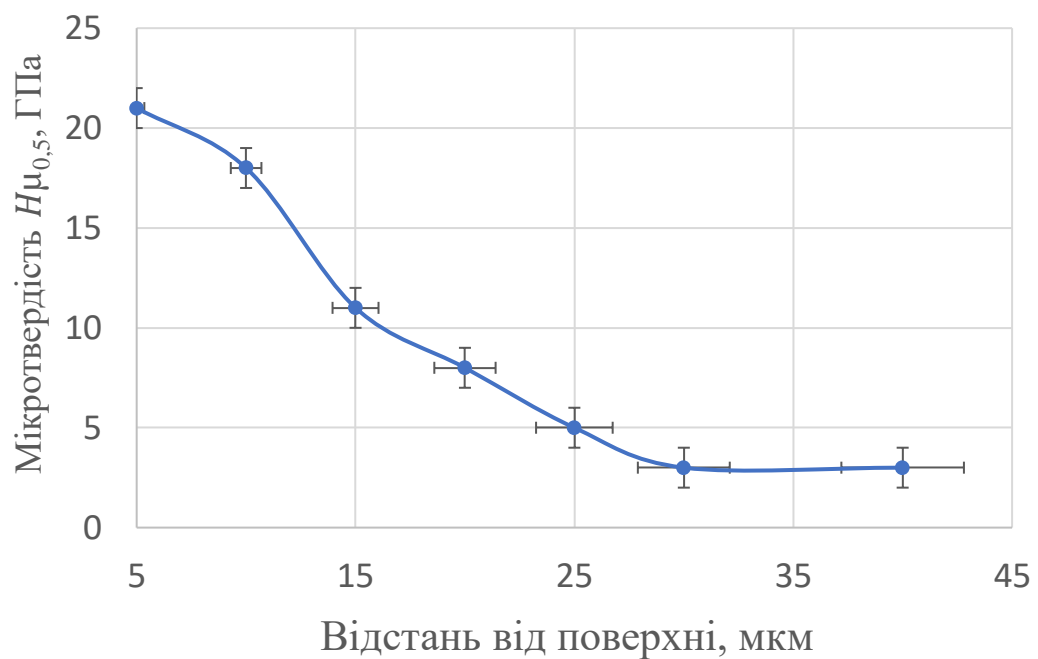


Рисунок 3.3 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі сталі ХВГ після ЕІЛ $\text{Co} - \text{Nb} - \text{C} - \text{Ti}$

В результаті проведеного фазового аналізу сталі ХВГ після ЕІЛ у послідовності Co-Nb-C-Ti було встановлено формування у поверхневому шарі наступних фаз: карбіду NbC (12,6 %) та інтерметаліду Co₂Nb (3 %) (рис. 3.4).

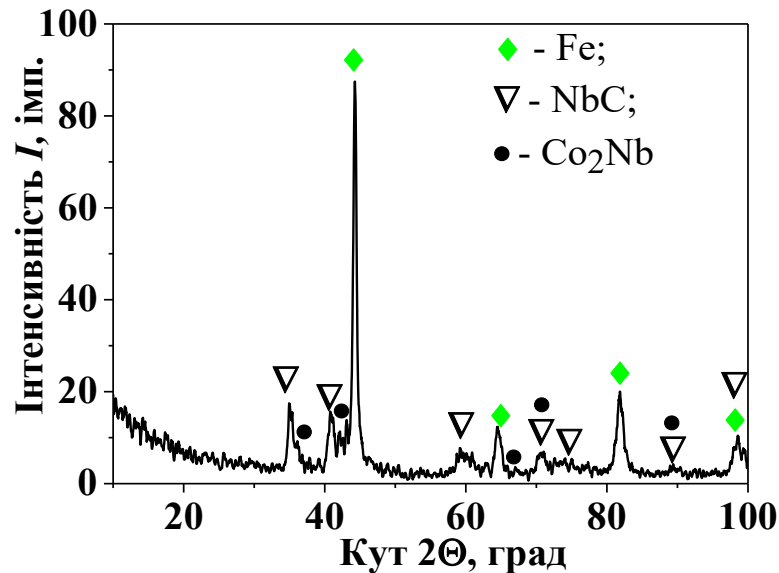


Рисунок 3.4 – Рентгенограма зразка сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-C-Ti)

Зафіксовані лінії твердого розчину кобальту в α -Fe (84,4 %), про що можуть свідчити збільшені значення періоду ґратки (2,8853 Å). Наявність в легувальному шарі карбіду NbC та інтерметаліду Co₂Nb може сприяти високим значенням мікротвердості. Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-C-Ti) занесено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-C-Ti)

Параметр	NbC	Fe	Co ₂ Nb
Параметри кристалічної ґратки a , Å	4,408	2,8853	7,12
Розмір ОКР d , Å	58	162	68
Ступінь деформації кристалічної ґратки ε , %	0	0,34	0
Вміст, ваг.%	12,6	84,4	3

3.1.2 Формування електроіскрового покриття на сталі ХВГ при послідовності нанесення Nb – С – Ti – С – Со

Щоб дослідити вплив послідовності нанесення різних анодів на сталь ХВГ та збільшити концентрацію вуглецю в легованому шарі був проведений режим ЕІЛ з нанесенням по черзі Nb – С – Ti – С – Со. Гравіметричний аналіз показав, що на першій стадії ЕІЛ Nb не відбувається зростання маси катоду і навіть спостерігається деяке його зменшення (рис. 3.5). Цей ефект ймовірно зумовлений випаровуванням частини матеріалу катода при іскровому розряді внаслідок більшого значення температури плавлення Nb (2477 °С) у порівнянні з температурою плавлення катоду – сталі ХВГ (1420°С – 1460°С). При ЕІЛ іншими анодами маса катоду збільшується.



1 – залежність приросту маси катоду від тривалості ЕІЛ; 2 – залежність ерозії Nb-аноду від тривалості ЕІЛ; 3 – залежність ерозії С-аноду від тривалості ЕІЛ; 4 – залежність ерозії Ti-аноду від тривалості ЕІЛ; 5 – залежність ерозії С-аноду від тривалості ЕІЛ; 6 – Зміна маси Со-аноду від тривалості ЕІЛ

Рисунок 3.5 – Кінетика масоперенесення при ЕІЛ сталі ХВГ у послідовності Nb – С – Ti – С – Со

На фотографії мікроструктури у межах покриття виділяються дві області з відмінною травимістю (рис. 3.6) Ймовірно ці області розрізняються фазовим складом сформованим при легуванні елементами з обмеженою розчинністю. Товщина шару складає близько 35 мкм.



Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Nb – С – Тi – С – Со товщиною 35мкм

Максимальні значення мікротвердості, які виявлені у легованому шарі, досягають значень 12 ГПа (рис. 3.7).

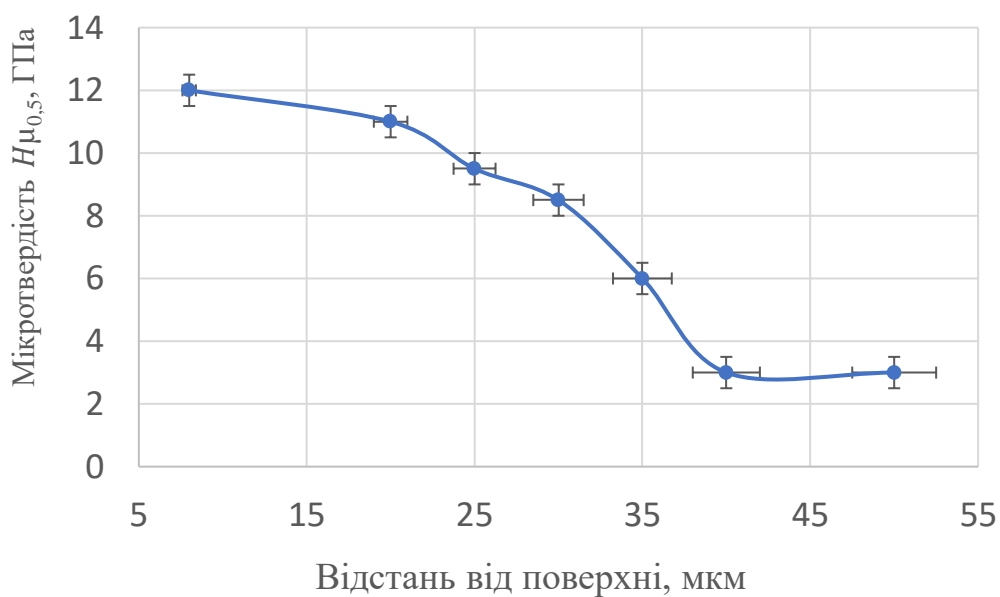


Рисунок 3.7 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі сталі ХВГ після ЕІЛ Nb – С – Тi – С – Со

Розкид значень мікротвердості у покритті зумовлено неоднорідним хімічним складом у цій зоні. Таким чином зміна послідовності нанесення на першій стадії з Co на Nb призвела до зменшення мікротвердості поверхневого шару.

При зміні послідовності нанесення анодів при ЕІЛ (Nb-C-Ti-C-Co) фазовий склад поверхневого шару змінюється. Збільшення кількості стадій легування вуглецем призвело до утворення комплексного карбиду $(NbTi)C_2$ (14 %) та фіксації ліній Co (22 %) та Fe (63 %). Кількість інтерметаліду Co_2Nb зменшилась до 1 % (рис. 3.8).

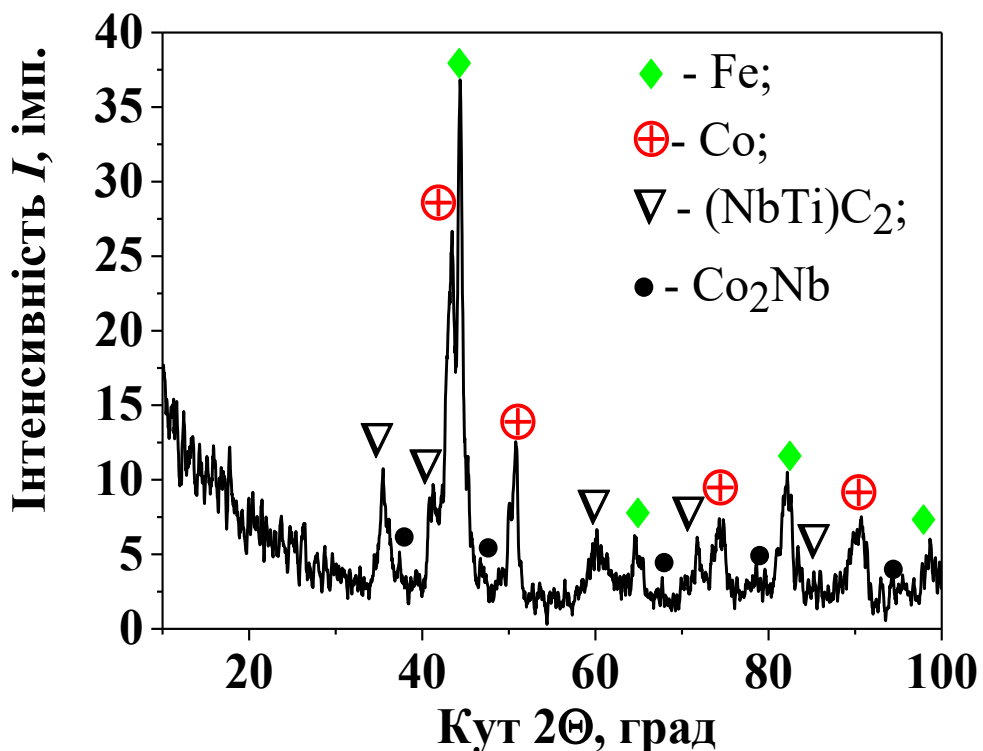


Рисунок 3.8 – Рентгенограма зразка сталі ХВГ після ЕІЛ (Nb-C-Ti-C-Co)

Заміна першої стадії легування з Co на Nb ймовірно вплинула на зменшення мікротвердості поверхневого шару до 12 ГПа у порівнянні з 21 ГПа при ЕІЛ у послідовності Co-Nb-C-Ti, де перша стадія легування здійснювалася Co. Така зміна могла зменшити кількість Nb у верхній частині легovanого шару і, відповідно, зменшити у цих зонах кількість карбідної фази. Зменшенню мікротвердості поверхневої зони також сприяло легування в останній стадії Co, який не утворює карбідів. Збільшилася товщина легovanого шару до 35 мкм.

Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Nb-C-Ti-C-Co) наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Nb-C-Ti-C-Co)

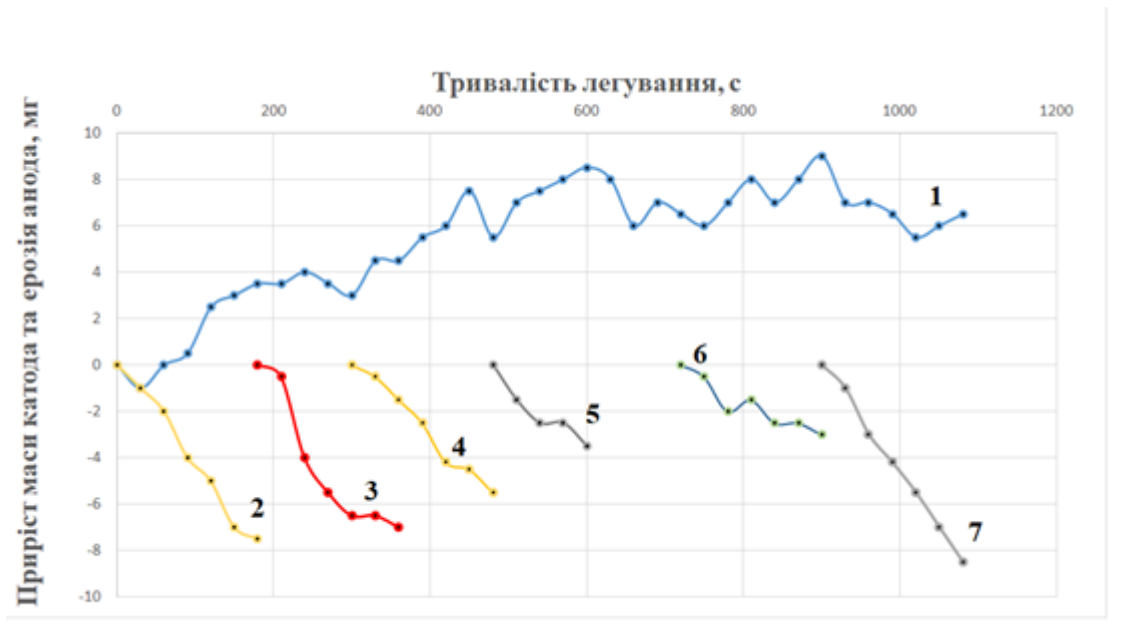
Параметр	Co	Fe	(NbTi)C ₂	Co ₂ Nb
Параметри кристалічної ґратки a , Å	3,597	2,878	4,375	6,58
Розмір ОКР d , Å	37,4	38	70	63,4
Ступінь деформації кристалічної ґратки ϵ , %	0	0	0	0
Вміст, ваг.%	22	63	14	1

3.1.3 Формування електроіскрового покриття на сталі ХВГ при послідовності нанесення Co – Nb – Co – C – Ti – C

З метою підвищення вмісту кобальту у легованому шарі та збільшення концентрації вуглецю був використаний режим електроіскрового легування (ЕІЛ) з послідовністю електродів Co – Nb – Co – C – Ti – C. Під час проведення гравіметричного аналізу було виявлено помітне збільшення маси катоду на кожному етапі процесу ЕІЛ, як показано на рисунку 3.9. Особливо значний приріст маси катоду був спостережений під час легування кобальтом.

Цей результат свідчить про ефективність використання послідовності електродів та вплив кобальту на процес формування легованого шару. Збільшення маси катоду свідчить про накопичення кобальту та вуглецю на поверхні катоду під час ЕІЛ. Це дозволяє отримати бажану концентрацію кобальту у легованому шарі та підвищити концентрацію вуглецю, що сприяє поліпшенню властивостей матеріалу.

Застосування послідовності електродів Co – Nb – Co – C – Ti – C дозволяє досягти бажаного результату, оскільки кобальт та вуглець введені до системи на різних етапах легування, що сприяє їх ефективному розподілу та утворенню легованого шару з необхідними властивостями.



- 1 – залежність приросту маси катода від тривалості ЕІЛ; 2 – залежність ерозії Co-аноду від тривалості ЕІЛ; 3 – залежність ерозії Nb-аноду від тривалості ЕІЛ; 4 – залежність ерозії Co-аноду від тривалості ЕІЛ; 5 – залежність ерозії C-аноду від тривалості ЕІЛ; 6 – залежність ерозії Ti-аноду від тривалості ЕІЛ; 7 – залежність ерозії C-аноду від тривалості ЕІЛ

Рисунок 3.9 – Кінетика масоперенесення при ЕІЛ сталі ХВГ у послідовності Co – Nb – Co – C – Ti – C

При мікроструктурному дослідженні виявлена область підвищеного травлення біля границі зразка з покриттям (рис. 3.10). Ймовірно ця область з підвищеною концентрацією кобальта в приграничній ділянці катода. Товщина шару складає ≈ 35 мкм. Відмічається відсутність дефектів та тріщин на межі між поверхнею зразка та легованим шаром.

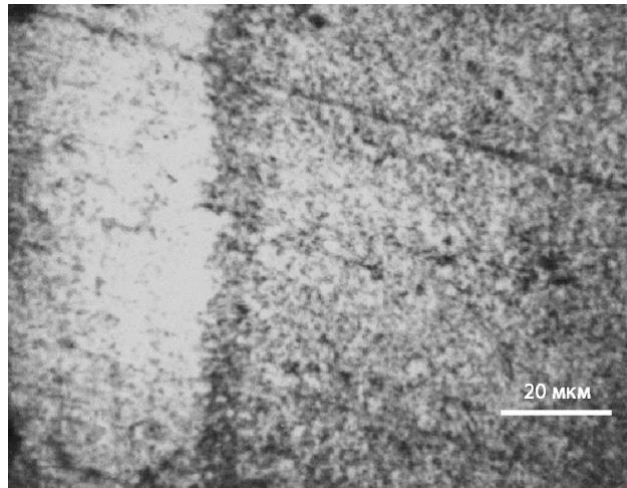


Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ
 $\text{Co} - \text{Nb} - \text{Co} - \text{C} - \text{Ti} - \text{C}$ товщиною 35 мкм

Після ЕІЛ спостерігається підвищення мікротвердості до 21 ГПа. Це може сприяти збільшенню опору поверхневого шару контактним навантаженням, що в свою чергу може бути корисним для використання такого типу зміцнення для деталей які швидко зношуються, або ж знаходяться під постійним навантаженням, чи критичних елементів системи які швидше за інші зношують за умовами експлуатації. З графіком можна ознайомитись на рисунку 3.11.

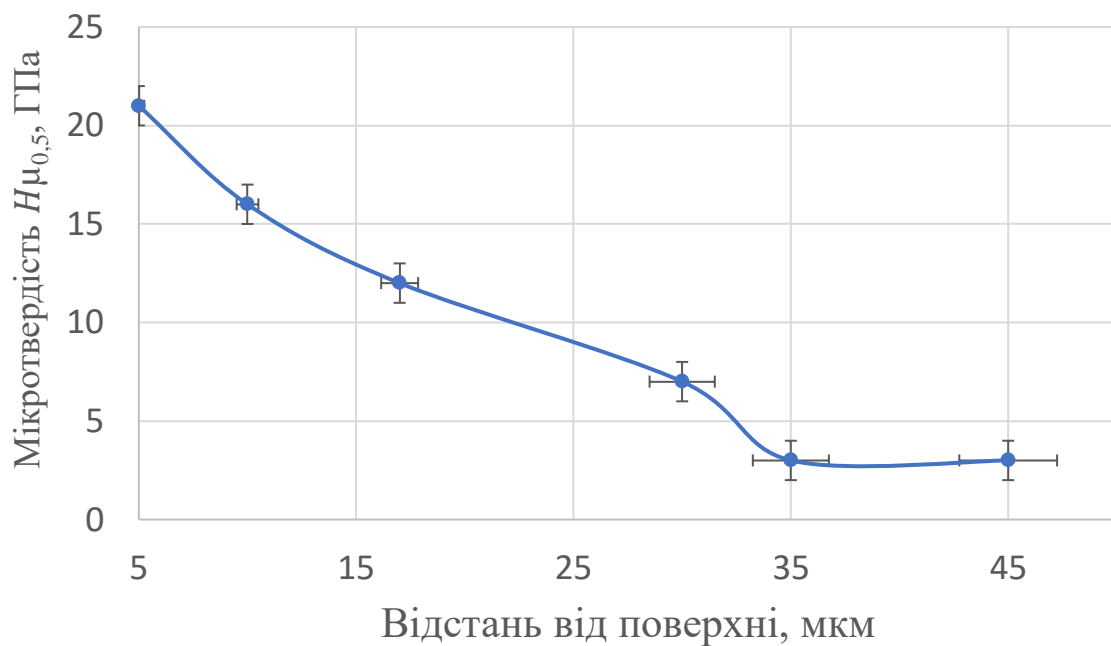


Рисунок 3.11 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі сталі ХВГ після
ЕІЛ $\text{Co} - \text{Nb} - \text{Co} - \text{C} - \text{Ti} - \text{C}$

Додавання додаткової стадії легування Co та проведення трьох останніх стадій у послідовності C-Ti-C призвело до зростання кількості карбідної фази $(\text{NbTi})\text{C}_2$ до 19% (рис.3.12).

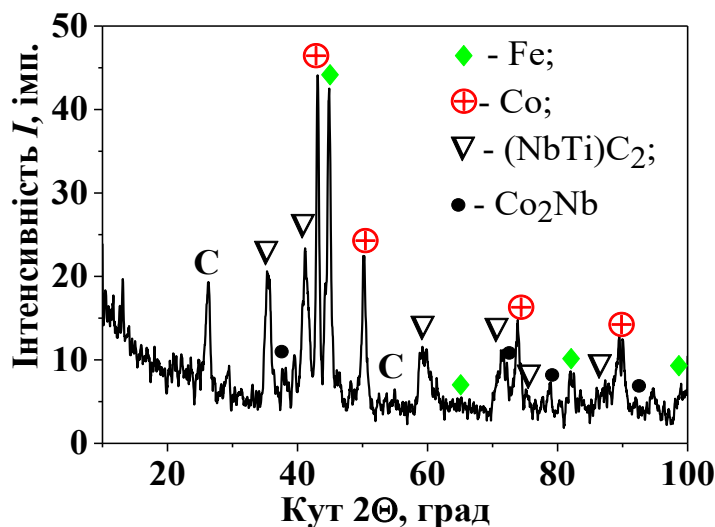


Рисунок 3.12 – Рентгенограма зразка сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-Co-C-Ti-C)

Деталі параметрів наведені в таблиці 3.4.

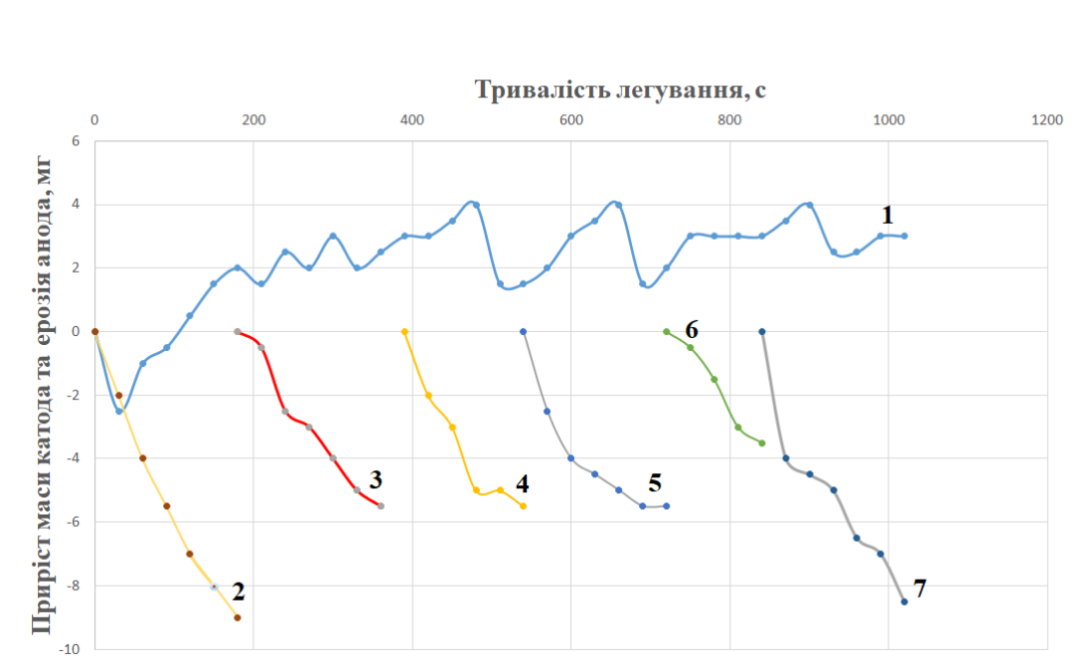
Таблиця 3.4 – Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-Co-C-Ti-C)

Параметр	Co	Fe	$(\text{NbTi})\text{C}_2$	Co_2Nb
Параметри кристалічної ґратки a , Å	3,6381	2,867	4,3997	6,6642
Розмір ОКР d , Å	50	135	101	82
Ступінь деформації кристалічної ґратки ϵ , %	0	0,23	0,6	0
Вміст, ваг.%	50	30	19	1

Це призвело до збільшення мікротвердості поверхневого шару до 21 ГПа. Кількість інтерметаліду Co_2Nb залишилась на рівні 1 % (рис.3.12). Фіксуються лінії Co (50 %) та Fe (30 %).

3.1.4 Формування електроіскрового покриття на сталі ХВГ при послідовності нанесення Co – Nb – C – Ti – C – Co

Для активізації можливих процесів карбідоутворення була змінена послідовність легування, таким чином, щоб легування вуглецем здійснювалось безпосередньо після стадій легування карбідоутворюючими елементами Nb та Ti (рис. 3.13). В процесі ЕІЛ маса катоду спочатку хвилюподібно зростає, а потім залишається незмінною.



- 1 – залежність приросту маси катоду від тривалості ЕІЛ; 2 – залежність ерозії Co-аноду від тривалості ЕІЛ; 3 – залежність ерозії Nb-аноду від тривалості ЕІЛ; 4 – залежність ерозії C-аноду від тривалості ЕІЛ; 5 – залежність ерозії Ti-аноду від тривалості ЕІЛ; 6 – залежність ерозії Co-аноду від тривалості ЕІЛ; 7 – залежність ерозії C-аноду від тривалості ЕІЛ

Рисунок 3.13 – Кінетика масоперенесення при ЕІЛ сталі ХВГ у послідовності Co – Nb – C – Ti – C – Co

Мікроструктура легованого шару характеризується рівномірною травимістю поверхневої зони (рис.3.14). Товщина шару складає 40мкм.

Максимальне значення мікротвердості складає 9,5 ГПа (рис. 3.15). В результаті ЕІЛ в послідовності Co – Nb – C – Ti – C – Co сформувався легований шар з відносно сталою мікротвердістю в середній частині зони.

Зазначимо, що значення мікротвердості для кожної відстані від поверхні було виміряно щонайменше в 5-ти точках.

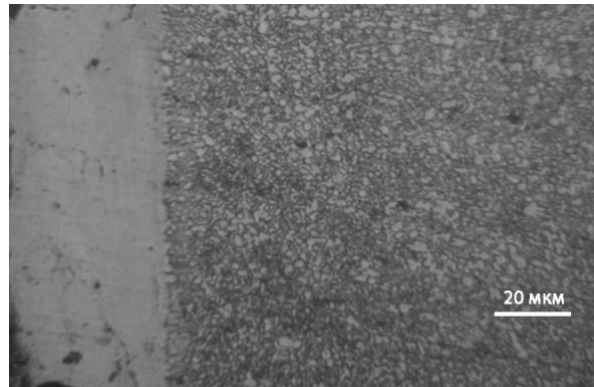


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Co – Nb – C – Ti – C – Co товщиною 40 мкм

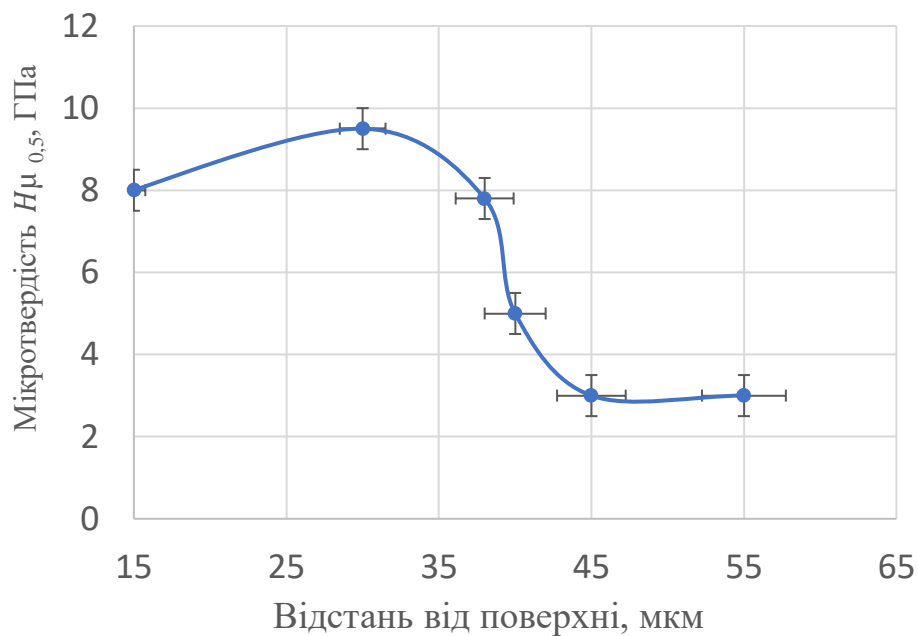


Рисунок 3.15 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі сталі ХВГ після ЕІЛ Co – Nb – C – Ti – C – Co

Зміна стадій легування таким чином, щоб відбувалося чергування елементів Nb-C-Ti-C, на відміну чергування C-Nb-C-Ti призвела до збільшення кількості карбіду $(\text{NbTi})\text{C}_2$ до 26 %. Ймовірно процес карбідоутворення при ЕІЛ відбувається більш інтенсивно при нанесенні спочатку карбідоутворюючого елементу (Nb, Ti), а потім вуглецю. Вміст Co складає 43%, а Fe 30 % рис. 3.16.

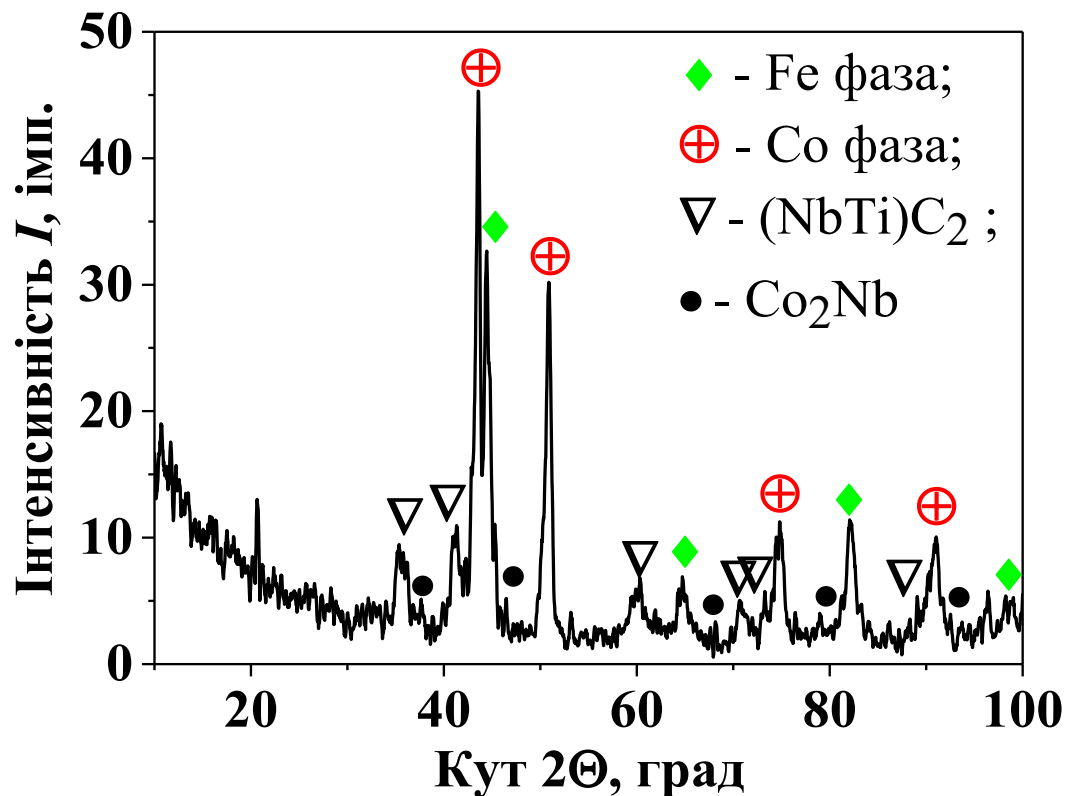


Рисунок 3.16 – Рентгенограма зразка сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-C-Ti-C-Co)

Зменшення мікротвердості поверхневої зони до 9,5 ГПа, у порівнянні з попереднім режимом ЕІЛ, можна пояснити збільшенням кількості Co у поверхневому шарі при останній стадії легування. Легування Co призводить до збільшення товщини шару до 40 мкм. Деталі про параметри наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіяння, ступінь деформації кристалічної ґратки та фазовий вміст виявлених фаз в сталі ХВГ після ЕІЛ (Co-Nb-C-Ti-C-Co)

Параметр	Co	Fe	(NbTi)C ₂	Co ₂ Nb
Параметри кристалічної ґратки a , Å	3,5819	2,8785	4,412	6,349
Розмір ОКР d , Å	527	69	68	68
Ступінь деформації кристалічної ґратки ϵ , %	0.6	0	0	0
Вміст, ваг.%	43	30	26	1

Вплив послідовності нанесення елементів в процесі ЕІЛ сталі ХВГ на мікротвердість легованого шару яскраво видно при співставленні графіків розподілу мікротвердості для чотирьох режимів ЕІЛ (рис. 3.17).

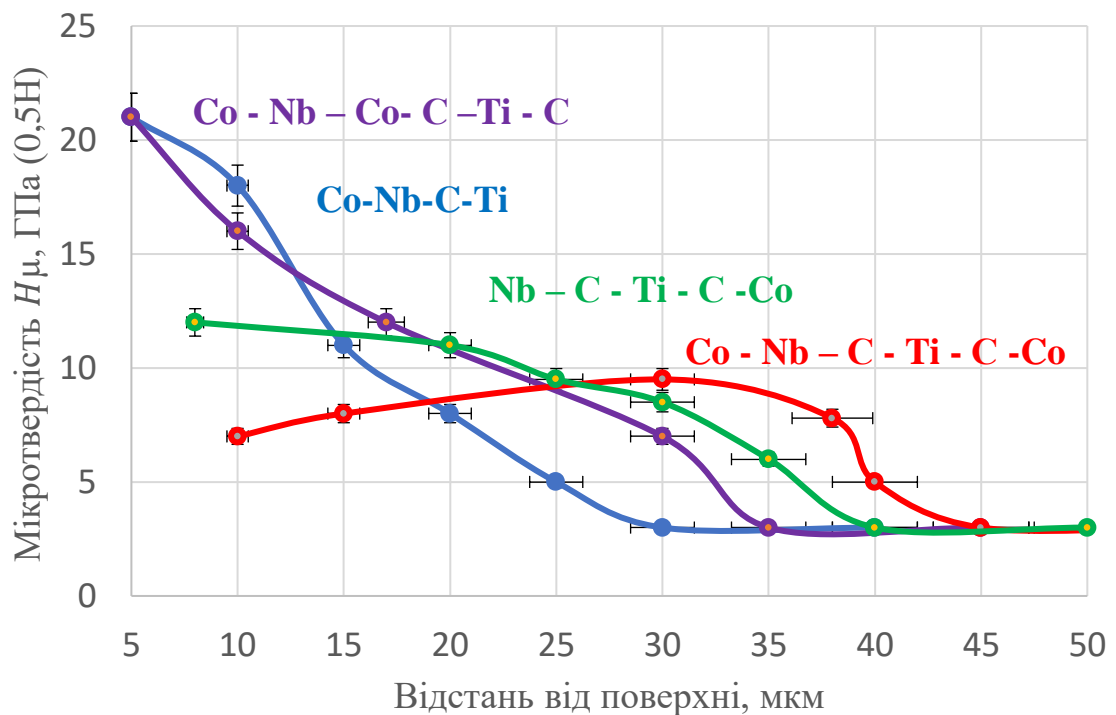


Рисунок 3.17 – Графік розподілу мікротвердості зразків зі сталі ХВГ після проведення ЕІЛ за всіма схемами

Найвища мікротвердість (21 ГПа) спостерігається в легованих шарах при режимах ЕІЛ у послідовності Co – Nb – C – Ti та Co – Nb – Co – C – Ti – C.

Останніми стадіями цих режимів є нанесення титану або титану і вуглецю, що, ймовірно, призводить до формування карбідів титану в поверхневих шарах. У випадку легування на останній стадії кобальтом, не карбідоутворюючим елементом, мікротвердість мала менші значення.

3.2 Висновки до розділу 3

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі ХВГ шляхом електроіскрового легування Nb, Co, Ti, C у різній послідовності з мікротвердістю (7 – 21) ГПа та протяжністю (25 – 40) мкм.

2. Показано, що найбільша мікротвердість 21 ГПа спостерігається в легованих шарах при режимах ЕІЛ у послідовності Co–Nb–C–Ti та Co–Nb–Co–C–Ti–C.

3. Встановлено вплив порядку нанесення Nb, Co, Ti, C в процесі електроіскрового легування сталі ХВГ на кінетику формування, мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад покриттів.

4. Встановлено, що ЕІЛ Nb, Co, Ti, C сталі ХВГ призводить до утворення комплексного карбиду $(NbTi)C_2$, інтерметаліду Co_2Nb та твердих розчинів на основі Co та Fe.

5. Показано, що заміна першої стадії легування з Co на Nb приводить до зменшити кількість Nb у верхній частині легованого шару та зниження мікротвердості поверхневого шару до 12 ГПа у порівнянні з 21 ГПа при ЕІЛ у послідовності Co–Nb–C–Ti.

6. Показано, що додаткова стадія легування Co та проведення трьох останніх стадій у послідовності C–Ti–C призводить до зростання кількості карбідної фази $(NbTi)C_2$ до 19 % і збільшення мікротвердості поверхневого шару до 21 ГПа.

7. Встановлено, що зміна стадій легування таким чином, щоб відбувалося чергування елементів Nb–C–Ti–C, на відміну чергування C–Nb–C–Ti призводить до збільшення кількості карбиду $(NbTi)C_2$ до 26 %.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

4.1 Науково-технічна актуальність НДР

У сучасному світі все більш популярним стає розвиток техніки, оскільки постійно зростає потреба у довговічних та надійних деталях для машин та механізмів, які працюють у важких умовах. Тому пошук нових способів зміцнення поверхні та створення міцних та зносостійких покриттів є актуальним напрямком.

Одним з ефективних методів поверхневої обробки є електроіскрове легування, яке дозволяє створювати покриття, що збільшує твердість металевих поверхонь.

Метою цього дослідження є вивчення впливу послідовності електроіскрової обробки поверхні сталі ХВГ за допомогою електродів Nb, Co, C та Ti на мікроструктуру та мікротвердість утворених покриттів.

4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Дослідження проводилося на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона. Усі розрахунки були виконані відповідно до методичних вказівок, які були надані викладачем. Планова кошторисна вартість (собівартість) науково-дослідної роботи була розрахована з урахуванням наступних статей витрат:

- оплата праці персоналу (науково-виробничого в нашому випадку);
- ЄСВ (єдиний соціальний внесок);
- оплата матеріалів необхідних для проведення досліджень;
- оплата на обслуговування обладнання необхідного для проведення експерименту;
- оплата послуг сторонніх організацій;
- оплата службових відряджень;

- накладні витрати;
- усі прямі невраховані витрати.

4.2.1 Витрати на оплату праці

Визначення заробітної плати науково-виробничого персоналу засноване на розрахунку трудомісткості окремих завдань та їхньої денної заробітної плати. Крім того, враховується кількість виконавців, їх кваліфікація та навантаження на різних етапах дослідження.

Фонд заробітної плати визначається шляхом перемноження середньоденної заробітної плати для кожної категорії виконавців на планову трудомісткість відповідних завдань. Результати розрахунків трудомісткості та фонду заробітної плати наведені в таблицях 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість робіт по темі

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів		
	Доцент	Провідний інженер	Інженер-дослідник
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	2	–	2
2. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	–	–	16
3. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	2	–	2
4. Розробка методики дослідження	2	2	2
5. Проведення дослідження	4	20	20
6. Обговорення результатів НДР	6	–	6
Разом за виконавцями теми	24	22	48

Для подальших розрахунків витрат на оплату праці використовується алгоритм, який пояснений в таблиці 4.2.

Середньоденна заробітна плата для кожної категорії виконавців розраховується шляхом поділу їхнього посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 - середнє число робочих днів у місяць).

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1.Доцент	24	19 788	933,40	22 401,51
2.Провідний інженер	22	10 530	496,70	10 927,4
3. Інженер-дослідник	48	9 238	435,75	20 916,23
Разом оплата праці з теми				54 245,14

4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) є обов'язковим платежем на загальнодержавне соціальне страхування. Починаючи з 1 січня 2016 року, ставка ЄСВ становить 22 %. Базою для розрахунку ЄСВ є загальні витрати на оплату праці за відповідною темою (враховуючи дані з таблиці 4.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \times 0,22, \quad (4.1)$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі.

У нашому випадку ЄСВ буде становити: $\text{ЄСВ} = 54\,245,14 \times 0,22 = 11\,933,93$ грн.

4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для проведення дослідження було виготовлено 4 зразки, використовуючи сталь ХВГ та аноди з ніобію, кобальту, титану та вуглецю. Вартість використаних матеріалів наведена у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1. Сталь ХВГ	ГОСТ 1133-71	кг	0,025	225	5,626
2. Кобальт	ГОСТ 123-67	кг	0,012	3 300	39,6
3. Ніобій	ГОСТ 16099-70	кг	0,015	10 800	162
4. Титан	ГОСТ 19807-91	кг	0,012	270	3,24
5. Вуглець	ГОСТ 7885-86	кг	0,015	150	2,25
6. Шліфувальний папір	–	Шт.	6	10	60
7. Спирт Еталон	–	Літр	0,25	100	25
8. Азотна кислота	–	Літр	0,015	10	0,15
Загальні витрати на матеріали					297,866

Приймаємо що транспортно-заготівельні витрати становлять 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_v = 297,866 \times 0,1 = 29,7866 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$B_M = 297,866 + 29,7866 = 327,6526 \text{ грн.}$$

4.2.4 Енергоносії для проведення досліджень

Дослідження проводилися з використанням існуючого обладнання, що знаходиться у лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

Для проведення даного дослідження не було необхідності в спеціальному обладнанні.

4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

Для проведення даної науково-дослідної роботи не було потреби в послугах сторонніх організацій.

4.2.7 Витрати на службові відрядження

Проведення даної науково-дослідної роботи не потребувало відряджень службового персоналу.

4.2.8 Інші прямі невраховані витрати

Прямі невраховані витрати приймаються у розмірі 10 % від врахованих

$$I_B = (ЗП + ЄСВ + B_M) \times 0,1, \quad (4.2)$$

Наразі I_B буде становити:

$$I_B = (54\,245,14 + 327,6526 + 11\,933,93) \times 0,1 = 6\,650,68 \text{ грн.}$$

4.2.9 Накладні витрати

Включення накладних витрат до калькуляції кошторисної вартості теми здійснюється пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат, що витрачаються на виконання досліджень, згідно з нормативами організації-виконавця цієї роботи.

Ця категорія витрат включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію, витрати на амортизацію основних засобів, витрати на науково-технічну інформацію, витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки, витрати на оплату послуг банків, податки, збори та інші обов'язкові платежі та витрати, пов'язані з цим.

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \times 0,2 \quad (4.3)$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (54\,245,14 + 327,6526 + 11\,933,93 + 6\,650,68) \times 0,2 = 14\,631,496 \text{ грн.}$$

4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.4.4).

Таблиця 4.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1.Витрати на оплату праці	54 245,14	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	11 933,93	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	327,652	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)

Продовження таблиці 4.4

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
5.Вартість послуг сторонніх організацій	–	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
7.Інші невраховані прямі витрати по темі	6 650,68	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
8.Накладні витрати	14 613,496	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
9.Усього витрат по темі	87 788,90	Сума попередніх статей

4.3 Науково-технічна ефективність НДР

У даній роботі дослідження мають пошуковий та прикладний характер, що ускладнює прямий розрахунок економічної ефективності. Однак, для визначення річного економічного ефекту можна скористатися бальною системою оцінювання, яка базується на наступних показниках:

Важливість розробки (K1): Оцінюється значимість і потенційна користь результатів дослідження для промисловості, науки або суспільства.

Можливість використання результатів розробки (K2): Визначається можливість практичного застосування отриманих результатів і їхня відповідність потребам ринку або інших зацікавлених сторін.

Теоретичне значення та рівень новизни (K3): Оцінюється значимість теоретичного внеску дослідження та його новизна в контексті наявних знань і досягнень.

Складність дослідження (K4): Враховується рівень складності та трудомісткості проведення дослідження, включаючи необхідні ресурси, експертизу та інфраструктуру.

Застосовуючи бальну систему оцінювання за цими показниками, можна визначити річний економічний ефект даної роботи.

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;

б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;

в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;

г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;

д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;

б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;

в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.

г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;

д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 гривень до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 гривень до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 гривень до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.4)$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 1.5 становить:

$$B = 3 \times 8 \times 3 \times 5 = 360$$

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K1	Робота виконується за угодою про угоду про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	K4	роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \times B - E_n \cup V_{\text{НДР}}, \quad (4.5)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 4.4).

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \times 360 - 0,25 \times 87\,788,90 = 158\,052,775 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{V_{\text{НДР}}}. \quad (4.6)$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{158\,052,775}{87\,788,90} = 1,8$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 1,8 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання.

4.4 Висновки до розділу 4

1. При проведенні економічного аналізу даної дипломної роботи виявлено, що це дослідження є економічно доцільним.
2. Була визначена планова кошторисна вартість НДР, яка складає 87788,90 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в процесі проведення досліджень на установці "Елітрон-26" має на меті забезпечити безпеку праці та запобігти можливим небезпекам та шкідливим факторам. Для цього рекомендується виконувати такі заходи:

- проведення аналізу небезпечних та шкідливих факторів, що виникають під час електроіскрового легування сталі ХВГ анодами Nb, Co, C та Ti;
- визначення умов та факторів, що можуть призвести до травмування людей, та розробка заходів для їх попередження;
- забезпечення відповідних організаційно-технічних заходів для зменшення ризику ураження організму людини;
- розробка та впровадження заходів безпеки, спрямованих на усунення небезпек та шкідливих факторів;
- проведення навчання працівників щодо правил безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях;
- забезпечення належних засобів індивідуального захисту працівників та контроль їх використання;
- виконання регулярного контролю за дотриманням вимог охорони праці та вжиттям необхідних заходів для забезпечення безпеки.

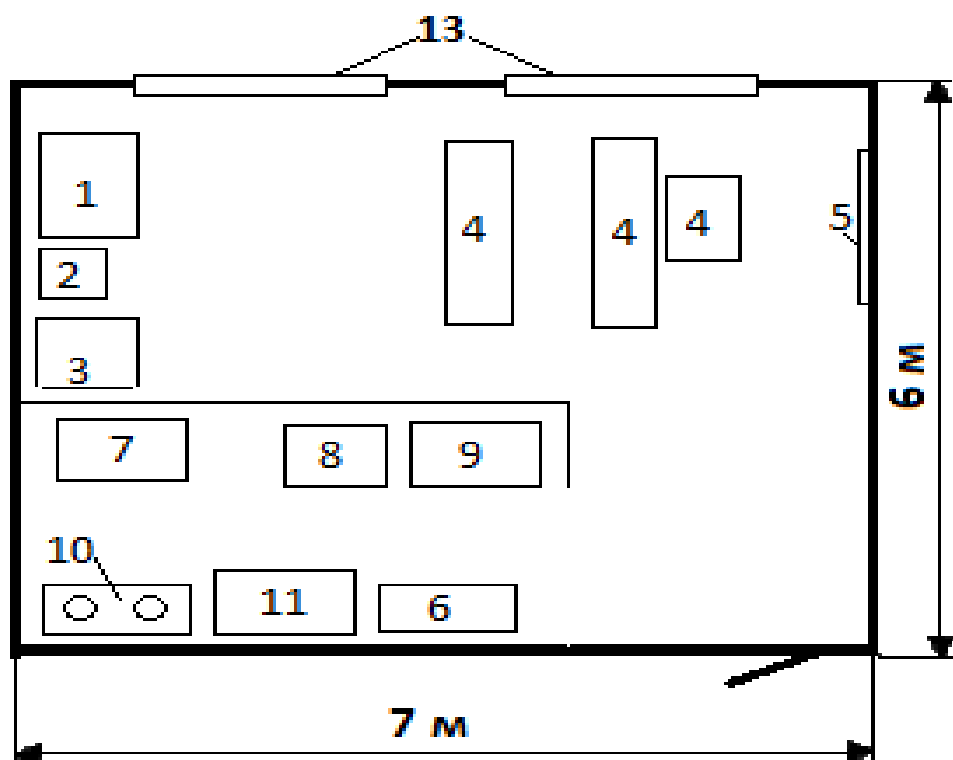
Враховуючи особливості роботи на установці "Елітрон-26" та аналізуючи небезпечні фактори, можна розробити конкретні заходи з охорони праці, спрямовані на забезпечення безпеки працівників у процесі досліджень на даній установці. Для аналізу умов праці під час проведення практичної частини дипломної роботи було розглянуто такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- електричний струм;
- освітлення;
- мікроклімат;
- випромінювання від комп'ютера;
- вібрації;

- склад повітря робочої зони;
- шум.

5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні

Дослідження науково-дослідницької роботи проводилися на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона в корпусі № 9, 0 поверх, аудиторія № 040. Схема аудиторії представлена на рисунку 5.1 . Параметри аудиторії представленні в табл. 5.1.



1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 -комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – шафа, 7- стіл для шліфування, 8 – ваги, 9 – прилад «ЕЛІТРОН – 26»,
10 – полірувальні круги, 11 – стіл

Рисунок 5.1 – Схема аудиторії 040, в якій проводилась науково-дослідницька робота

Таблиця 5.1 – Параметри аудиторії

Параметр	Розмір, м
Параметри аудиторії	
Довжина	7
Ширина	6
Висота	3,8
Параметри вікна	
Ширина	2,7
Висота	2,5

Аудиторія має площу 42 м² та об'єм 156,9 м³. Кількість працюючих в аудиторії становило 3 особи.

Площа, яка приходить на одну людину – 14 м², об'єм ~ 52,3 м³. Згідно з ДБН В.2.2-28-2010, де на одну людину повинно приходитись не менше 6 м² площі та 20 м³ об'єму, дані відповідають нормам [52]. В таблиці 5.2 наведено параметри мікроклімату.

Таблиця 5.2 – Виміряні та нормовані параметру мікроклімату

Категорія робіт легка 1 а					
Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювання	Вентиляція
		Оптимальне	Допустиме		
Температура, °С	Теплий	23-25	21-28	26	Природна
	Холодний	22-24	20-24	22	Природна
Відносна вологість повітря, %	Теплий	40-60	<60	42	Природна
	Холодний	40-60	<75	53	Природна
Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,1	0,1-0,2	0,15	Природна
	Холодний	0,1	<0,1	0,1	Природна

Для нормальної працездатності людини важливу роль мають фактори такі, як чисте повітря, температура, вологість повітря у приміщенні в залежності від пори року та категорії важкості робіт, тому виконання науково-дослідної роботи супроводжувалось дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт – Іа [52]. Ця категорія включає в себе легкі фізичні роботи до 120 Ккал/год., що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження.

Аналізуючи дані мікроклімату, що міститься в табл. 5.2 та нормативно-правових актах, можна зробити висновок, що аудиторія, в якій проводилась дана науково-дослідна робота, відповідає вимогам санітарних норм.

5.2 Аналіз повітря

Чистота та загальна якість повітря визначається кількістю пилу та шкідливих речовин у повітрі. Виробниче приміщення у якому проводиться науково-дослідницька робота має відповідати нормам зазначеним у документах які визначають нормативно-правові вимоги ДСН 3.3.6.042-99 .

Вміст шкідливих речовин не має перевищувати максимально допустимих значень визначених для мікроклімату виробничих приміщень тобто відповідати допустимим мікрокліматичним умовам ДСН 3.3.6.042-99. Під шкідливими речовинами розуміються хімічні сполуки або матеріали які можуть мати негативний вплив на здоров'я людини.

Потрапляти ці речовини в повітря можуть під час технологічних процесів, таких як, наприклад, плавлення та шліфування. Шкідливі речовини можуть бути токсичними, канцерогенними, алергенні, або мати інший негативний вплив, який залежить від використаних у досліді матеріалів і типу їх обробки [53].

В аудиторії 040 матеріали піддаються різним типам обробки, такими як полірування, шліфування та травлення, з використанням пасти ДОІ (діоксид хрому) та 20 % розчину азотної кислоти у етанолі, що є стандартним металографічним травником. Перевищення концентрації цих речовин у повітрі може призвести до запаморочення, отруєння та зниження працездатності.

Гранична концентрація в повітрі шкідливих речовин в виробничому приміщенні 040 не перевищена та відповідає нормам.

5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку

Шум це коливання частинок навколишнього середовища (газу, рідини, твердого тіла), що сприймається органами слуху людини як небажані сигнали [54]. Утворення звукових хвиль рухомими елементами обладнання які мають частоту менше 20 Гц, може бути причиною появи інфразвуку. Так само при роботі технологічного обладнання з утворенням звукових хвиль з частотою понад 20 000 Гц може викликати ультразвук [55].

Небезпека шумового забруднення полягає в тому, що довготривалий шумовий вплив на людину може знижувати слухову чутливість, підвищувати навантаження на нервову систему, призводити до головних болей та інших хвороб (гіпертонічна та виразкова, неврози, шлунково-кишкові і шкіряні захворювання). При довготривалих або голосних параметрах шуму, вплив може бути безповоротній. Так при значеннях шуму ≥ 90 дБА може виникати приглухуватість, а при ≥ 145 дБА – пошкодження барабанної перетинки [56].

Граничні величини параметрів шумів регламентовані в ДСН 3.3.6.037-99. При проведенні досліджень в рамках цієї роботи використовувалась установка «ЕЛІТРОН– 26А», яка є основним джерелом шуму, також певне шумове навантаження викликалось машинами для шліфування.

Так як шумові навантаження від усіх джерел були імпульсними та в рамках допустимих значень, у разі довготривалих шумових навантажень – використовувались протишумові вкладиші для шумових проходів, та експериментатор робив часті перерви для внесення та аналізу даних, можна зробити висновок про відповідність звукового фону нормам.

5.4 Аналіз освітлення

Освітленість є параметром освітлення поверхні, що створюється світловим потоком що падає на поверхню та вимірюється в люксах. Освітлення може бути природнім (сонячні промені) та штучним (електричні джерела світла). Штучні джерела освітлення в основному використовуються при недостатньому природному освітленні через особливості знаходження виробничого приміщення або через погодні умови чи темну пору доби. Джерела освітлення мають також окрему класифікацію, природне поділяється на: бокове (одно- або двобічне), верхнє та комбіноване, штучне – загальне, місцеве та комбіноване. Більш детальніше класифікація наведена на схемі рисунок 5.2 [57].

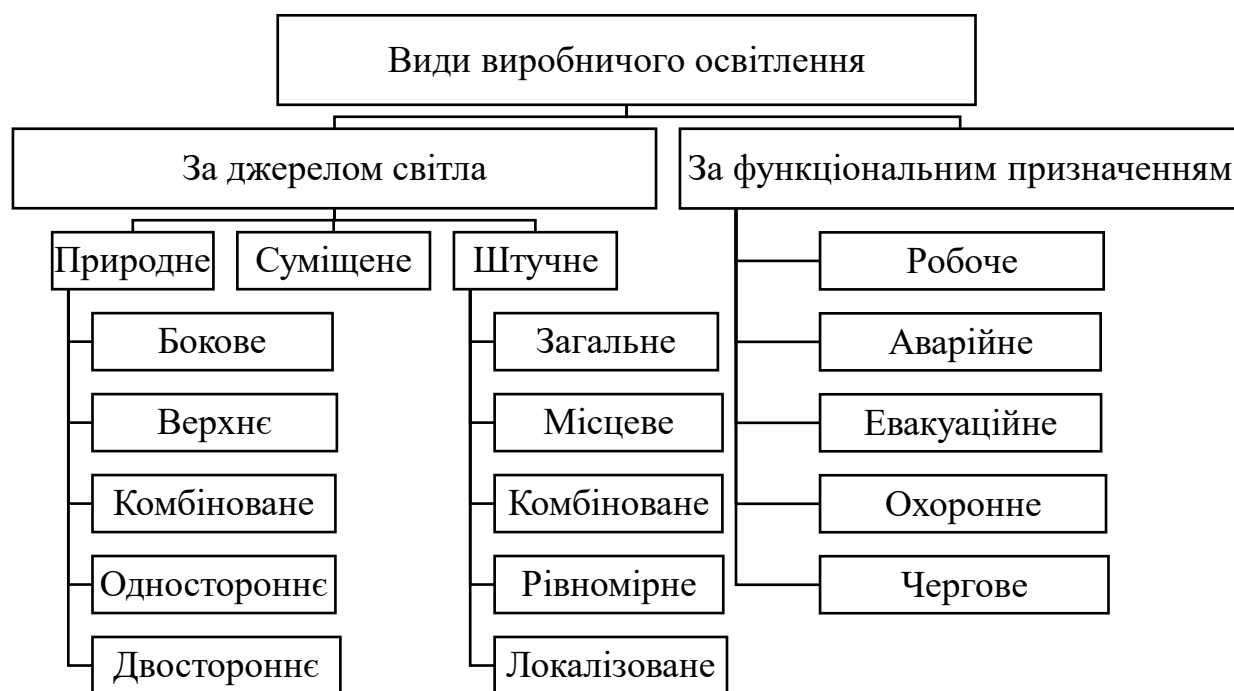


Рисунок 5.2 – Класифікація видів виробничого освітлення

При поганому освітленні (нерівномірність, недостатність або надмірність) може спостерігатись тимчасове або і безповоротне погіршення здоров'я людини. В залежності від системи освітлення, рівня освітленості та зорової активності,

розміру та контрасту об'єкта дослідження та інших характеристик зорової роботи встановлюються нормативні вимоги згідно ДБН В.2.5.28-2006 [57].

В аудиторії № 040 суміщений типу освітлення: присутнє природнє боковє та штучнє освітлення. Проведені роботи можна віднести до IV розряду зорових робіт так як роботи середньої точності. Для штучного освітлення використовуються стандартні лампи розжарювання – для місцевого та люмінесцентні (ЛБ-40 × 20) для загального.

Для забезпечення відповідності рівня освітленості нормам застосовуються такі методи як – очищення скла вікон, віконних рам та світильників не рідше як двічі на рік, та своєчасна заміна ламп.

5.5 Електробезпека

За діючими правилами побудови електроустановок приміщення лабораторії ПУЕ-2017 виробничє приміщення в якому проводились дослідження можна віднести до приміщєнь з підвищеною небезпекою отримання електротравм, з огляду на використанням електроприладів з живленням від мережі з напругою 220 В та відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності з ДНАОП 0.00-1.21-98.

В аудиторії № 040 підключені такі прилади як: установка для ЕІЛ “Елитрон-26А”, обчислювальна техніка (ПК), мікротвердомір ПМТ-3М та шліфувальні машини. Установка “Елитрон-26А” має підсилену ізоляцію, профілометр, мікротвердомір та шліфувальні машини мають робочу ізоляцію.

Для захисту від ураження струмом використовуються такі методи як: заземлення, вимикання та подвійна ізоляція. Заземлення застосовується при напрузі понад 1000 В. Захисне вимикання застосовується при виникненні обставин які можуть загрожувати життю чи здоров'ю людини.

Причинами ураженням електричним струмом можуть бути:

- відсутність або несправність захисних елементів;
- несправність вмикача чи вимикача приладу;

- людський фактор (недбале ставлення до вимог безпеки праці);
- пошкодження ізоляційного шару.

Наслідки ураження електричним струмом можуть різнитись в залежності від величини та тривалості дії струму, стану організму, частоти та величини струму.

Безпечним можна умовно вважати струм з частотою 50 Гц, напругою 2,0 В та силою струму 0,3 мА. До сили струму 25 мА людина під дією цього струму ще може самостійно розірвати контакт з джерелом ураження. При силі струму більше 100 мА виникає загроза життю.

В приміщенні аудиторії де проводились дослідження застосовані наступні методи електробезпеки:

- захисне заземлення електроприладів та електроустаткування;
- додатковий ізоляційний шар;
- розміщення робочих місць з попередженням ймовірності випадкового дотику до корпусів електроприладів.

5.6 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Аудиторію № 040 можна віднести до категорії «Г» відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» так як процес обробки супроводжується виділенням іскор та тепла, також в залежності від типу ЕІЛ можуть бути присутні горючі гази, легкозаймісті речовини або ж негорючі речовини в розжареному або розплавленому стані.

Пожежонебезпечними локаціями аудиторії можна визначити місця прокладки електропроводки, де загоряння може виникнути в наслідок короткого замикання, та установка для ЕІЛ, так як в процесі обробки можуть використовуватись легкозаймісті речовини.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5 (ГОСТ 15150), 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). План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.3.

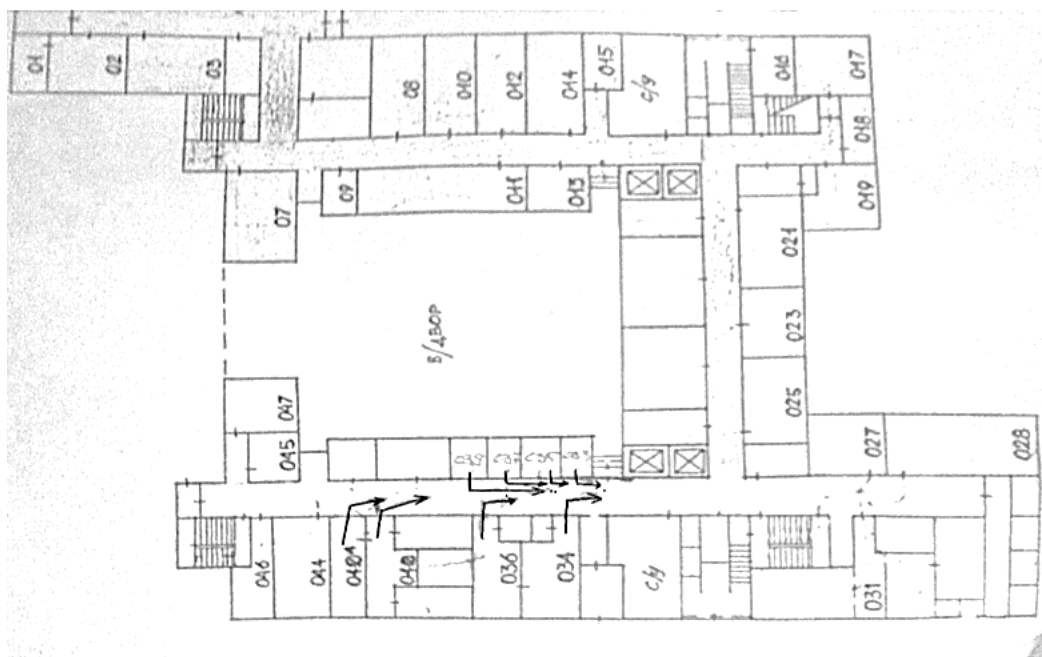


Рисунок 5.3 – План евакуації 0-го поверху 9-го корпусу

Основні заходи по пожежній безпеці для запобігання аварійних ситуацій [58]:

- регулярна профілактична перевірка та заміна засобів пожежогасіння та систем протипожежної сигналізації
- перевірка справності електропроводки
- розробка і впровадження регламентів по гасінню пожеж, евакуації та порятунку з місць пожежі й задимлення людей
- проведення інструктажів та симулювання дій при пожежі

У випадку ж пожежі яка виникла на електроустановці, або ж при увімкненій електроустановці необхідно знеструмити її при можливості та не використовувати при гасінні воду, а використовувати вуглекислотний або

вуглекислотноброметиловий вогнегасник [59].

Підсумовуючи все вищесказане при дотриманні правил пожежної безпеки приміщення відповідає нормам і може використовуватись для досліджень.

5.7 Алгоритм дій у випадку "Повітряної тривоги" за сигналом цивільного захисту

Згідно з наказом від 04.08.2022 № НУ/129/2022, сигнал "Повітряна тривога" [60] поширюється за допомогою централізованої системи оповіщення, яка включає сирени, регіональне радіо та телебачення. Цей сигнал, що триває від трьох до п'яти хвилин, призначений для попередження про можливу небезпеку ракетних або авіаційних ударів від противника, а також надає рекомендацію негайно шукати укриття. В якості найближчого укриття може слугувати станція метро.

Крім того, можна отримувати сигнал про повітряну тривогу за допомогою мобільних додатків, таких як "Повітряна тривога" та "Відбій повітряної тривоги". Однак, цей варіант не є релевантним для аудиторії № 040, оскільки вона знаходиться на -1 поверсі, де можуть бути обмеження доступу до Інтернету для мобільних телефонів.

У разі сигналу "ПОВІТРЯНА ТРИВОГА" на робочому місці, слід дотримуватися наступних інструкцій:

- зберіться швидко і без паніки та прямуйте до укриття, яке знаходиться на території Університету і зазначене у Плані закріплення найпростіших укриттів для працівників університету. При цьому, не забудьте взяти з собою питну воду та їжу;
- слухайте та дотримуйтеся вказівок відповідальної особи, яка керує евакуацією та розміщенням укритті;
- у внутрішніх приміщеннях укриття не дозволяється палити, смітити або розмовляти голосно. Важливо зберігати спокій, дотримуватися порядку та надавати допомогу дітям, літнім людям та інвалідам;

- уважно стежте за розпорядженнями та сигналами оповіщення, щоб бути в курсі подальших інструкцій;
- після отримання повідомлення про скасування повітряної тривоги, ви можете залишати укриття та повертатися до своєї роботи.

Ці інструкції є важливими для забезпечення вашої особистої безпеки та безпеки оточуючих під час повітряної тривоги.

Після сигналу "ПОВІТРЯНА ТРИВОГА" не рекомендується залишатися в приміщеннях Університету, які не є укриттями, особливо на верхніх поверхах. Це зумовлено тим, що в разі вибуху такі приміщення можуть піддаватися руйнуванню від ударної хвилі. Замість цього, слід вжити наступні заходи для забезпечення безпеки:

- перейдіть до більш безпечного місця в приміщенні, де ви знаходитесь, таке як під несучі стіни подалі від вікон. Це допоможе зменшити ризик отримання травм від ударної хвилі;
- якщо ви запізнилися з переходом до укриття і не маєте можливості швидко пересунутися до безпечного місця, дотримуйтеся наступних правил в залежності від виду небезпеки;
- в разі загрози ракетних ударів: шукайте захисту в стіні або під міцними меблями, такими як столи, дивани або ліжка;
- в разі загрози авіаційних ударів: переходьте до внутрішніх приміщень або будівель, далеко від вікон і потенційних місць падіння уламків;
- апам'ятайте, що ваша особиста безпека є пріоритетом. Дотримуйтеся інструкцій та рекомендацій, які надаються в рамках сигналу "ПОВІТРЯНА ТРИВОГА", щоб максимально зменшити ризик у разі небезпеки.

У разі потрапляння під обстріл стрілецькою зброєю, важливо діяти швидко і зберігати холонокровність. Ось кілька кроків, які можна вжити для забезпечення безпеки:

- якщо ви знаходитесь вдома, швидко знайдіть безпечне місце для схову, таке як ванна кімната або сама ванна. Ці місця можуть надати додатковий захист від куль і уламків. Якщо немає доступу до цих приміщень, ляжте на підлогу та вкрийте себе предметами, які можуть служити природнім бар'єром;

- якщо ви перебуваєте на відкритому місці, спустіться на землю та негайно прикрийте голову руками. Шукайте будь-яких виступів або заглиблень в землі, які можуть послужити як природні укриття. Навіть сміттєвий бак може надати певний захист;

- під час обстрілу важливо дотримуватися безпечного положення тіла. Стримуйтеся в групу, займіть позу ембріона (стисніться) і розверніть ноги у бік, зворотній до джерела пострілів. Закрийте голову руками, розтуліть рот, щоб зменшити можливість пошкодження барабанної перетинки в результаті вибухової хвилі;

- залишайтеся в укритті щонайменше 5 хвилин після того, як постріли вщухнуть. Це дозволить убезпечити себе від можливих наслідків після обстрілу;

- завжди слід дотримуватися інструкцій відповідальних осіб за безпеку та рекомендацій місцевих владних органів у таких небезпечних ситуаціях.

У разі гучного свисту, залпу запуску та вибуху снаряда, можливо, ви опинилися в зоні артобстрілу, мінометного обстрілу або авіаналоту. Дотримуйтесь наступних кроків, щоб забезпечити свою безпеку:

- постійно слідкуйте за небом і будьте уважні на ознаки наявності снарядів або обстрілу. Удень це може бути димний слід від ракети, а вночі - яскравий спалах;

- якщо поруч з вами є бомбосховище і ви почули сигнал сирени, це означає "Увага всім". Негайно рушайте до найближчого укриття;

- прибувши в укриття, увімкніть телебачення або радіо на будь-якому засобі комунікації або перегляньте сторінки офіційних державних каналів. Там протягом 5 хвилин нададуть інформацію про поточну ситуацію та надані інструкції. Дотримуйтесь цих інструкцій;

- залишайтеся в укритті щонайменше 10 хвилин після завершення обстрілу, оскільки існує загроза його повторення;

- завжди слід слухати та дотримуватися інструкцій, наданих офіційними джерелами та відповідальними органами у таких небезпечних ситуаціях.

5.8 Висновок до розділу 5

У результаті аналізу шкідливих та небезпечних факторів було зроблено висновок що умови праці в аудиторії відповідають нормам і вимогам на основі ДСтУ, ДСН, ДБН, НПАОП, НАПБ, ПУЕ. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення відповідають санітарним нормам, Рівень шуму, виробниче та рентгенівське випромінення не перевищують допустимих норм. Також було запропоновано заходи для запобігання виникнення небезпечних для життя та здоров'я людини ситуацій.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі ХВГ шляхом електроіскрового легування Nb, Co, Ti, C у різній послідовності з мікротвердістю (7 – 21) ГПа та протяжністю (25 – 40) мкм.
2. Встановлено вплив послідовності нанесення Nb, Co, Ti, C в процесі електроіскрового легування сталі ХВГ на кінетику формування, мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад покриттів.
3. Встановлено, що ЕІЛ Nb, Co, Ti, C сталі ХВГ призводить до утворення комплексного карбїду (NbTi)C₂, інтерметалїду Co₂Nb та твердих розчинів на основі Co та Fe та збільшення мікротвердості легованого шару.
4. Показано, що найбільша мікротвердість 21 ГПа спостерігається в легованих шарах при режимах ЕІЛ у послідовності Co–Nb– C –Ti та Co–Nb – Co – C –Ti – C.
5. При проведенні економічного аналізу даної дипломної роботи виявлено, що це дослідження є економічно доцільним. Була визначена планова кошторисна вартість НДР, яка складає 87 788,90 грн.
6. У результаті аналізу шкідливих та небезпечних факторів було зроблено висновок що умови праці в аудиторії відповідають нормам і вимогам на основі ДСтУ, ДСН, ДБН, НПАОП, НАПБ, ПУЕ. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення відповідають санітарним нормам, Рівень шуму, виробниче та рентгенівське випромінення не перевищують допустимих норм. Також було запропоновано заходи для запобігання виникнення небезпечних для життя та здоров'я людини ситуацій.

CONCLUSIONS

1. The possibility of forming hardened coatings on HVH steel by electrospark alloying of Nb, Co, Ti, C in a different sequence with a microhardness of 7-21 GPa and a length of 25-40 microns has been established.

2. The influence of the sequence of application of Nb, Co, Ti, C in the process of electrospark alloying of HVH steel on the kinetics of formation, microstructure, microhardness and phase composition of coatings was established.

3. It was established that the EIL of Nb, Co, Ti, C of HVG steel leads to the formation of complex carbide $(\text{NbTi})\text{C}_2$, intermetalide Co_2Nb and solid solutions based on Co and Fe and to an increase in the microhardness of the alloyed layer.

4. It is shown that the highest microhardness (21 GPa) is observed in alloyed layers in the EIL regimes in the sequence Co–Nb–C–Ti and Co–Nb–Co–C–Ti–C.

5. During the economic analysis of this thesis, it was found that this research is economically feasible. The planned estimated cost of the NDR was determined, which amounts to UAH 87,788.90.

6. As a result of the analysis of harmful and dangerous factors, it was concluded that the working conditions in the auditorium meet the norms and requirements based on DStU, DSN, DBN, NPAOP, NAPB, PUE. The microclimate, organization of the workplace, lighting meet sanitary standards, noise level, production and X-ray radiation do not exceed permissible standards. Measures were also proposed to prevent the occurrence of situations dangerous to human life and health.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // М.: изд. АН МССР, 1959. – 183 с.
2. Newman S.T. State of the art electrical discharge machining (EDM) / S.T. Newman // Int. J. Machine Tools and Manu, 2003. – Vol. 43. – pp. 1287–1300.
3. Kunieda M. Advancing EDM through Fundamental Insight into the Process / M. Kunieda, B. Lauwers, K.P. Rajurkar, B.M. Schumacher // CIRP Ann-Manuf. Techn, 2005. – Vol. 54. – pp. 64–87.
4. Iwai M. Improvement of EDM properties of PCD with electrode vibrated by ultrasonic transducer / M. Iwai, S. Ninomiya, K. Suzuki // Procedia CIRP, 2013. – Vol. 6. – pp. 146–150.
5. Srivastava V. Effect of process parameters on the performances of EDM process with ultrasonic assisted cryogenically cooled electrode / V. Srivastava // Journal of Manufacturing Processes, 2012. – Vol. 14. – pp. 393–402.
6. Teimouri R. Effects of magnetic field and rotary tool on EDM performance / R. Teimouri // Journal of Manufacturing Processes, 2012. – Vol. 14. – P. 316–322.
7. Baseri H. Optimization of magnetic field assisted EDM using the continuous ACO algorithm / H. Baseri // Appl. Soft Comput, 2014. – Vol. 14. – pp. 381–389.
8. Rajurkar K.P. A Report on Technology Assessment of Electrical Discharge and Electro-Chemical machine Tools / K.P. Rajurkar, Jaykumar Narasimhan // Association for Manufacturing Technology, CNMR, University of Nebraska-Lincoln, USA, 2003. – P. 105.
9. Janmanee P. Surface modification of tungsten carbide by electrical discharge coating (EDC) using a titanium powder suspension / P. Janmanee, Apiwat Muttamara // Applied Surface Science, 2012. – Vol. 258. – pp. 7255–7265.
10. Верхотуров А.Д. Научные основы формирования легированного слоя при электроискровом легировании: Автореф. д-ра техн. наук. / А.Д. Верхотуров // К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1984. – 54 с.

11. Muthuramalingam T. A review on influence of electrical process parameters in EDM process / T. Muthuramalingam // Arch. Civ. Mech. Eng, 2014. – pp. 87–94
12. Machining Phenomena in EDM for Surface Modification with TiC Semi-sintered Electrode / A. Goto, N. Saito , N. Mohri et al. // Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 2001. – V. 67. – pp. 114 – 119.
13. Yang M. Molecular dynamics simulation of residual stress generated in EDM / M. Yang, X. Hana , F. Zhou, M. Kunieda // The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), Procedia CIRP, 2013. – pp. 432–437.
14. Krastev D. Surface Modification of Steels by Electrical Discharge treatment in Electrolyte / D. Krastev, V. Paunov, B. Yordanov, V. Lazarova // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2014. – pp. 28–35.
15. Madhaw S. Thesis on Surface Modification by Electro discharge Coating with WC-Cu P / S. Madhaw // Rourkela National Institute of Technology, 2012. – P. 37.
16. Wang Z.L. A Surface Modification Method by EDM / Z.L. Wang, Y. Fang , W.S. Zhao, K. Cheng // Key Engineering Materials, 2004. – pp. 592–595.
17. Mohri N. Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrodes / N. Mohri, N. Saito, Y. Tsunekawa // Annals of the CIRP, 1993. – pp. 219–222.
18. Tang C.B. Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical applications / C.B. Tang, D.X. Liu, Z. Wang, Y. Gao // Applied Surface Science, 2011. – V. 257. – pp. 6364–6371.
19. Lin Y.C. Surface improvement using a combination of electrical discharge machining with ball burnish machining based on the Taguchi method / Y.C. Lin, B.H. Yan, F.Y. Huang // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000. – V. 18. – pp. 673–682.
20. Marafona J. New method of optimizing material removal rate using EDM with copper tungsten electrodes / J. Marafona, C.A. Wykes // International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000. – V. 40. – pp. 153–164.

21. Hwang Y.L. The coating of TiC layer on the surface of nickel by electric discharge coating (EDC) with a multi-layer electrode / Y.L. Hwang, C.L Kuo, S.F. Hwang // *Journal of Materials Processing Technology*, 2010. – V. 210. – pp. 642–652.
22. Singh S. Review to EDM by Using Water and Powder-Mixed Dielectric Fluid / S. Singh, A. Bhardwaj // *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 2011. – Vol. 10. – pp. 199–230.
23. A review of the electro-spark deposition technology / Z. Zhengchuan, L. Guanjun, I. Konoplianchenko et al. // *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 2022. – Vol. 44. – pp. 45-53.
24. Pitting corrosion of 2Cr13 stainless steel in deep-sea environment / X. Wang, L. Fan, K. Ding et al. // *Journal of Materials Science & Technology*, 2021. – Vol. 64. – pp. 187-194.
25. Капцевич В.М. Новые материалы и технологии: пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве / В.М. Капцевич, В.Р. Калиновский, В.К. Корнеева // – Минск: БГАТУ, 2010. – 284 с.
26. Surface Modification of 304 Stainless Steel by Electro-Spark Deposition / Z. Jiao, S. Peterkin, F. Lorenzo et al. // *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2018. – Vol. 27 (9). – pp. 4799-4809.
27. Barile C. Advancements in electrospark deposition (ESD) technique: a short review / C. Barile, C. Casavola, G. Pappalettera, G. Renna // *Coatings*, 2022. – Vol. 12. – P. 1536.
28. Марочник стали і сплавів // НТУ "ХП", Учебно-научный инженерно-физический институт. URL: <http://www.splav-kharkov.com/main.php> (дата звернення: 25.04.2023).
29. Synthesis of multicomponent coatings by electrospark alloying with powder materials / V. Mihailov, N. Kazak, S. Ivashcu et al. // *Coatings*, 2023. – Vol. 13(3). – P. 651.
30. Johnson R.N. Alternative coatings for wear and corrosion: the

electrospark deposition process. / R.N. Johnson // Proceedings AESF/EPA Conference for Environmental Excellence, 2002. – pp. 38–47.

31. Гапонова О.П. Новий спосіб підвищення якості поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень, які підлягають радіаційному опромінюванню / О.П. Гапонова // Bulletin of Sumy national agrarian university. The series: mechanization and automation of production processes, 2022. – Т. 3, № 49. – С. 82–89.

32. Савельєв В.І. Дослідження впливу добавок порошку самофлюсуючого сплаву та ряду перехідних елементів в електродному матеріалі Co-WC на процесі модифікування поверхневого шару та його властивості при механізованому легуванні сталі ХВГ / В.І. Савельєв // Сучасні наукові дослідження та інновації, 2016. – Т. 3. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/03/65018> (дата звернення: 10.05.2023).

33. Герук С.М. Підвищення зносостійкості робочих поверхонь технологічної оснастки методом електроіскрового легування / С.М. Герук, Ю.М. Држевецький, П.П. Федірко // Тези доповідей студентів та магістрантів на II Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції "Підвищення надійності машин і обладнання" 10 квітня 2008 року. – Кіровоград: КДТУ, 2008. – С. 38–41.

34. Enhancing fatigue life of additive manufactured parts with electrospark deposition post-processing / P. Enrique, A. Keshavarzkermani, R. Esmaeilzadeh et al. // Additive Manufacturing, 2020. – V. 36. – P. 101526.

35. Іващенко Є.В. Формування зносостійких зміцнених покриттів на поверхні сталі Ст. 3 послідовним електроіскровим легуванням хромом та міддю в інертному середовищі та на повітрі / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, О.В. Вознюк // Проблеми тертя та зношування, 2018. – № 2. – С. 72–77. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptz_2018_2_10.

36. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун // Суми: Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

37. Евтектичні композиційні матеріали на основі перехідних металів з тугоплавкими фазами втілення. Основи створення та застосування: монографія /

В. Є. Панарін, М. В. Кіндрачук, П. І. Лобода та ін // К.: КВІЦ, 2015. – 240 с.

38. Дмитриева Г. Структура и свойства износостойкого сплава на основе кобальта с карбидом ниобия / Г. Дмитриева, Т. Черепова, Т. Kosorukova, В. Ничипоренко // *Металлофиз. новейшие технологии*, 2015. – Т. 37. – С. 973–986.

39. Microstructure and wear resistance of (Nb,Ti)C carbide reinforced Fe matrix coating with different Ti contents and interfacial properties of (Nb,Ti)C/ α -Fe / C. Zhao, X. Xing, J. Guo et al. // *Applied Surface Science*, 2019. – Т. 494. – Р. 600–609.

40. Radek N. Properties of electro-spark coatings deposited on the steel substrate using the tungsten carbide-ceramic electrodes / N. Radek, A. Sladek // *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2016. – V. 22. – pp. 1354–1362.

41. Холявко В.В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська // Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.

42. Vizureanu P. Advanced Electro-Spark Deposition Process on Metallic Alloys / Petrică Vizureanu, Manuela-Cristina Perju, Dragoș-Cristian Achiței // *Advanced Surface Engineering Research*, 2018. – V. 3. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/62514> (дата звернення: 6.05.2023).

43. Николенко С.В. Электродные материалы для электроискрового легирования с минеральными и самофлюсующимися добавками / С.В. Николенко, Х. Ри // Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 305 с.

44. Физические методы восстановления деталей. [Электронный ресурс] URL: https://studopedia.su/15_184645_elektroiskrovoe-legirovanie.html (дата звернення: 6.05.2023).

45. Пячин С.А. Зависимости изменения массы электродов от времени при электроискровом легировании / С.А. Пячин, Н.Е. Аблесимов, Д.Л. Ягодзинский // *Электрические методы обработки поверхности*, 2003.– Т. 1.– С.19 – 26.

46. Ваги лабораторні «AXISAD50-5-00034» [Електронний ресурс] URL: <https://chemtest.com.ua/vesy-laboratornye-axis-ad50> (дата звернення: 31.04.2023).
47. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT).
48. Вимірювання мікротвердості. Лабораторна робота з курсу "Фізичні властивості та методи вимірювання матеріалів" [Електронний ресурс] URL: <https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=240> (дата звернення: 6.05.2023).
49. Мікротвердомір ПМТ-3М. [Електронний ресурс] URL: <http://proflab.com.ua/produkt/product-details/846-mikrotverdomer-pmt-3m.html> (дата звернення: 6.05.2023).
50. Мікроскоп металлографічний агрегатний ЕС МЕТАМ РВ. [Електронний ресурс] URL: http://granat-e.ru/ec_metam_rv.html (дата звернення: 6.05.2023).
51. ДСТУ 8604:2015 – Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги.
52. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
53. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони : Наказ МОЗ України від 14.07.2020 р. № 1596 : станом на 9 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text> (дата звернення: 18.06.2023).
54. НПАОП 0.00-1.31-99 – Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислюваних машин.
55. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
56. ДСН 3.3.6.039-99 – Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
57. ДБН В.2.5-28: 2018 – Норми природного і штучного освітлення.
58. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. К.: Основа, 2019. – 472 с.

59. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

60. ПРИМІРНИЙ АЛГОРИТМ дій населення за сигналами оповіщення цивільного захисту “Увага всім”, “Повітряна тривога” [Електронний ресурс]
URL: <https://kyivcity.gov.ua/img/item/general/8410.pdf> (дата звернення: 01.04.2023).