

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

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Є.В. Іващенко
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство**

**на тему: «Створення зносостійких покриттів на сталі СтЗкп методом
електроіскрового легування Co, Nb, Ti»**

Виконав:
студент II курсу, групи ФМ-81мп
Дмуховський Д.М. _____

Керівник:
доцент, к.т.н.
Іващенко Є.В. _____

Консультанти із експериментальної частини:
доцент, к.т.н.,
Лобачова Г.Г. _____

Консультант з організаційно-економічної частини:
доцент, к.е.н.
Петренко К.В. _____

Консультант з нормоконтролю:
асистент,
Шаповалова Н.А. _____

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:
професор, д.т.н.
Левченко О.Г. _____

Рецензент:
кандидат технічних наук
Богомол Ю.І. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство (Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Дмуховському Дмитру Михайловичу

1. Тема дисертації «Створення зносостійких покриттів на сталі СтЗкп методом електроіскрового легування Со, Nb, Ti.», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – поврехневі шари сталі СтЗкп , після ЕІЛ анодами Со, Nb та Ti в різних послідовностях.

4. Вихідні дані: літературні дані та дані переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) провести електроіскрове легування;

4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;

5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.;

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 32 рисунка та презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	доцент, к.т.н., Лобачова Г.Г.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., професор, д.т.н.		
Розробка стартап-проекту	доцент, к.е.н. Петренко К.В.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел	14.09.2019	
2.	Підготовка зразків для електроіскрового легування (ЕІЛ)	24.09.2019	
3.	Проведення ЕІЛ та гравіметрія	01.10.2019	
4.	Рентгенівські дослідження зразків після ЕІЛ	15.10.2019	
5.	Аналіз та обробка отриманих результатів дослідження	12.11.2019	
6.	Розробка стартап-проекту, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	19.11.2019	
7.	Оформлення магістерської дисертації, створення презентації	03.12.2019	
8.	Попередній захист магістерської дисертації	05.12.2019	
9.	Захист магістерської дисертації	18.12.2019	

Студент

Дмуховський Д.М.

Науковий керівник дисертації

Іващенко Є.В.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 86 ст., 32 рис., 12 таб., 39 джерел

ЕЛЕКТРОІСКРОВОЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), ЛЕГОВАНІЙ ШАР, СТАЛЬ СТЗКП, КОБАЛЬТ, ТИТАН ТА НІОБІЙ

Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі СтЗкп, після ЕІЛ анодами Со, Nb та Ті в різних послідовностях.

Мета роботи – дослідження впливу ЕІЛ кобальтом, ніобієм та титаном, в різних послідовностях на мікроструктуру мікротвердість та фазовий склад сталі СтЗкп.

Методи дослідження – мікроструктурний, мікродюрометричний, гравіметричний, рентгенофазовий аналіз та випробування на зносостійкість.

Виявлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі СтЗкп при ЕІЛ анодами Со, Ті, Nb в різній послідовності їх нанесення на фазовий склад та мікротвердість легованих шарів.

Виявлено, що більш високі значення мікротвердості, легованого шару, мають зразки сталі СтЗкп, які оброблені виключно титановим анодом та зразок який оброблений по схемі (Со-Nb-Ti-Со).

Показано, що найвищу мікротвердість має легований шар при ЕІЛ сталі СтЗкп анодом Ті (15,6 ГПа), це пов'язано з формування карбідної складової твердого розчину, та на зразку Со-Nb-Ti-Со (10 ГПа), а також там спостерігається плавне зменшення мікротвердості та з товщиною поверхневого шару в 35 мкм.

Практичне значення: отримані в роботі результати та встановлені закономірності формування структури та властивостей легованих шарів після процесу електроіскрового легування Со, Nb, Ті на повітрі можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів, що працюють в умовах екстремальних навантажень.

Abstract

Master Thesis: 86 p., 32 fig., 12 tab., 39 sources

ELECTRO-SPARKING ALLOY , ST3CP STEEL, COBALT, TITANIUM AND NIOBIUM

The object of study is the surface layers of steel St3cp, after the ESA anodes Co, Nb and Ti in different sequences.

The purpose of the study is to investigate the effect of ESA on cobalt, niobium and titanium, in different sequences, on microstructure, microhardness and phase composition of St3cp steel.

Methods of study - microstructural, microdurometric, gravimetric, X-ray phase analysis and wear tests.

The possibility of forming hardened coatings on St3cp steel at ESA by Co, Ti, Nb anodes in different sequence of their deposition on the phase composition and microhardness of the doped layers was revealed.

It is revealed that higher values of microhardness of the doped layer have samples of steel St3cp, which are treated exclusively with titanium anode and the sample which is processed according to the scheme (Co-Nb-Ti-Co).

It is shown that the highest microhardness has a doped layer at e of steel St3cp anode Ti (15.6 GPa), this is due to the formation of the carbide component of the solid solution, and to the sample Co-Nb-Ti-Co (10 GPa), and there there is a gradual decrease in microhardness and a surface thickness of 35 microns.

Practical significance: the results obtained and the regularities of formation of structure and properties of alloyed layers after the process of electrospark alloying of Co, Nb, Ti in the air can be used to extend the life of parts of machines and mechanisms operating under conditions of extreme loads.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	9
ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Конструкційна вуглецева сталь Ст3кп.....	12
1.2 Формування покриттів при електроіскровому легуванні на сталях	13
1.2.1 Фізичні основи процесу електроіскрового легування.....	16
1.2.2 Вплив параметрів електроіскрової обробки на склад, будову, властивості поверхневих шарів	17
1.2.3 Імпульсний вплив на метали електричною іскрою	19
1.2.4 Структура та властивості поверхні сталей Ст3 після ЕІЛ Cu, C, Zr, Al.....	20
1.2.5 Принципова схема та модель методу, переваги та недоліки ЕІЛ	22
1.2.6 Підвищення ефективності електроіскрового легування	24
1.2.7 Створення зносостійких евтектичних кобальтових покриттів.....	27
1.3 Висновки до розділу 1	28
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	30
2.1 Об'єкти дослідження	30
2.2 Методика проведення експерименту	30
2.3 Методи дослідження	32
2.3.1 Метод визначення мікротвердості	32
2.3.2 Мікроструктурний аналіз.....	33
2.3.3 Гравіметричний аналіз	35
2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз.....	36

2.3.5 Дослідження на зносостійкість	37
2.4 Висновки до розділу 2	38
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	39
3.1 Електроіскрове легування сталі СтЗкп Со, Nb та Ti	39
3.2 Пошарове ЕІЛ сталі СтЗкп, анодами Со, Nb та Ti.....	45
3.3 Зносостійкість поверхні сталі СтЗкп після ЕІЛ за схемою Со – Nb – Ti – Со та Nb – Ti – Со	50
3.4 Висновки до розділу 3	51
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	53
4.1 Актуальність	53
4.2 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	53
4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження.....	57
4.3.1 Витрати на основні матеріали	58
4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади.....	58
4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова	58
4.3.4 Відрахування на соціальні заходи	60
4.3.5 Витрати на службові відрядження.....	60
4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій.....	60
4.3.7 Інші прямі невраховані витрати	60
4.3.8 Накладні витрати	61
4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження	61
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	62
4.5 Формування системи збуту	63
4.6 Висновки до розділу 4	63

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
5.1 Аналіз роботи в приміщенні	65
5.1.1 Склад повітря робочої зони.....	67
5.2 Аналіз шуму та вібрації.....	68
5.3 Інженерні рішення.....	69
5.3.1 Освітлення.....	69
5.3.2 Аналіз штучного освітлення.....	69
5.3.3 Електробезпека	71
5.3.4 Вентиляція приміщення лабораторії	73
5.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям	77
5.4.1 Пожежна безпека	77
5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	79
5.5 Висновки до розділу 5	80
ВИСНОВКИ.....	81
CONCLUSIONS	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

ЕІЛ – ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ

НДР – НАУКОВО – ДОСЛІДНИЦЬКА РОБОТА

ОКР – ОБЛАСТЬ КОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЮВАННЯ

ESA – ELECTRO-SPARKING ALLOY

ВСТУП

Умови сучасних ринкових відносин в яких причасні всі сегменти економіки, включаючи підприємства та наукові центри, які використовують метали для виготовлення продукції, вимагають щоденної роботи над покращенням механічних властивостей матеріалів, які будуть відкривати нові можливості в машинобудуванні та у ряді інших сфер життєдіяльності.

Покращення ключових властивостей кожного матеріалу у сфері його застосування на даний момент часу є пріоритетним напрямком, оскільки всі основні матеріали вже розроблені та винайдені, тому матеріали, які будуть з меншою затратою енергії виконувати більшу роботу зі збільшення показником ККД з надміцністю, з надпружністю, такі матеріали в найближчій перспективі є пріоритетом розвитку сучасної науки, можна вважати на найвищому рівні за все існування.

Електроіскрове легування - це ефективний метод зміни хімічного складу, стану структурної фази та властивостей поверхневих шарів, заснований на використанні концентрованих потоків електрики під час розрядів імпульсів у середовищі між електродами та полярному перенесенні анодного матеріалу на поверхню катода (деталі). ЕІЛ - це недорогий, недорогий і мобільний інструмент для формування поверхневого шару базується на принципі Шарпі, згідно з яким для забезпечення високої вантажопідйомності шар робочої поверхні повинен мати міцну пластикову основу [1].

Мета роботи: дослідження впливу ЕІЛ кобальтом, ніобієм та титаном, в різних послідовностях на мікроструктуру мікротвердість та фазовий склад сталі СтЗкп.

У випадку з електроіскровим легуванням значення послідовності нанесення матеріалів є дуже важливим фактором створення поверхневого шару з зазначеними характеристиками якості. Це відображається на зміні товщини та якості сплаву та зміцненні покриття, яке в свою чергу визначає їх фізичні та механічні властивості.

Аналіз літератури показує, що недостатньо джерел, присвячених вивченню впливу пошарового осадження на структуру, фазовий склад та властивості поверхневих шарів сталі СтЗкп після оброблення кобальтом, ніобієм та титаном, тож це завдання як теоретичного, так практичного характеру, яке потребує подальшого вивчення [2].

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Конструкційна вуглецева сталь Ст3кп

Конструкційну вуглецеву сталь Ст3кп звичайної якості застосовують для виготовлення несучих та не несучих елементів для зварних і незварне конструкцій, а також деталей, що працюють при позитивних температурах. Листовий і фасонний прокат 5 категорії (до 10 мм) - для несучих елементів зварних конструкцій призначених для експлуатації в діапазоні від - 40 °С до + 425°С при змінних навантаженнях.

Сплав сталі Ст3кп містить: вуглецю – (0,14 - 0,22) %, кремнію – (0,05 - 0,17) %, марганцю – (0,4 - 0,65) %, нікелю, міді, (хрому - до 0,3 %), миш'яку до (0,08 %), сірки і фосфору - до (0,05 % і 0,04 %) відповідно [30].

Сталь Ст3кп не схильні до відпускнуї крихкості, не має обмежень в зварюванні. Якість конструкційної сталі визначається корозійну стійкість, механічними властивостями. Основою структури сталі є ферит, його здатністю до зварювання.

За своїми механічними характеристиками стали ділять на групи: сталі звичайної, підвищеної і високої міцності. Основні властивості сталі безпосередньо залежать від хімічних елементів, що входять до складу сплаву і технологічних особливостей виробництва.

Характеризує висока міцність і пластичність, цементит навпаки, характеризується крихкістю і твердістю, а перліт володіє проміжними властивостями. Характеристики фериту не дозволяють застосовувати його в будівельних конструкціях в чистому вигляді [3].

Для підвищення міцності фериту сталь насичують вуглецем (стали звичайною міцності, маловуглецеві), легують добавками хрому, нікелю, кремнію, марганцю та інших елементів (низьколеговані сталі з високим коефіцієнтом міцності) і легують з додатковим термічним зміцненням (високоміцні сталі).

1.2 Формування покриттів при електроіскровому легуванні на сталях

Низьколеговані сталі найпоширеніші в галузі, оскільки вони мають достатньо високу міцність і високий ступінь пластичності. Але в процесі експлуатації такі деталі піддаються циклічним і динамічним навантаженням, що призводить до їх руйнування. Тому сьогодення тенденція полягає в покращенні їх ефективності. Іноді досить посилити робочу поверхню [5].

Для покращення властивостей робочих поверхонь матеріалів, а саме для підвищення міцності, довговічності та корозійної стійкості, застосовуються різні методи, включаючи нанесення захисних покриттів [6].

Однак хімічні та фізичні способи нанесення покриття методом осадження пари вимагають використання цінного обладнання, яке не вигідне для дрібного виробництва.

Метод ЕІЛ заснований на явищі електричної ерозії матеріалів під час іскрового розряду та полярному перенесенні продуктів ерозії від анода до катода з утворенням зміненого поверхневого шару. Метод ЕІЛ дозволяє покривати на металевих поверхнях різними струмопровідними матеріалами. Метод простий у технічному виконанні, має низьке енергоспоживання, хоча відсутність задовільного розуміння механізму процесу ЕІЛ не дозволяє утворювати покриття із специфічними властивостями, тим більше, що іскрові покриття мають складний склад і структуру, їх властивості досить часто непередбачувані певною мірою [7].

В результаті ЕІЛ змінюються розміри деталі, рельєф, фізичні, хімічні та механічні властивості її поверхневого шару. Поверхневий шар отримує задану зменшену структуру та склад. Існує тонкокристалічна структура, утворюються інтерметаліди, нітриди, карбіди тощо, що підвищує твердість поверхні [8].

ЕІЛ використовується для зміцнення та зміни розміру деталей та інструментів машин; підготовка поверхні для інших видів обробки. Цей спосіб підвищує твердість, довговічність, термостійкість та корозійну стійкість поверхонь, а також зменшує адгезію під час тертя [8].

До основних особливостей ЕІЛ належать:

- висока міцність адгезії застосовуваного матеріалу до підкладки (за рахунок механічного перемішування та взаємного дифузійного проникнення елементів електродних матеріалів у утворений шар) [9];
- здатність використовувати як сплави як чисті метали та багато сплавів, металокерамічні композиції, тугоплавкі сполуки тощо [9];
- незначне об'ємне нагрівання заготовки або його відсутність у процесі легування, що не впливає на фізико-механічні властивості заготовки та її геометрію [9].

Важливою технологічною особливістю процесу ЕІЛ є інтенсивність утворення поверхневого шару та товщина покриття, які залежать від кількості енергії розряду, що виділяється між зазором електрода, та середнього струму робочих імпульсів. Чим менше енергія розряду, тим менша товщина осадженого шару та його шорсткість. Зварювання матеріалів методом ЕІЛ дозволяє отримати будь-яку товщину покриття. Електроди, виготовлені з самоплавких матеріалів на основі нікелю та міді, використовуються для отримання високоякісних товстих покриттів. В якості електрод-катодного матеріалу використовуються тверді сплави, що містять карбіди титану, вольфраму та кобальту, ферохром, хром-марганець, алюміній, ніобій, білий чавун, сталь Ст3 та графіт. Затвердіння сплаву не впливає на міцність, але знижує втомну міцність матеріалу, оскільки метод обробки генерує залишкові напруження та збільшує параметри шорсткості поверхні. Величина напруження на розрив залежить від способів зміцнення та електродних матеріалів [10].

Процеси формування покриття на металевих деталях включають електроіскрове насичення маси, що бере участь у процесі, та передачу енергії, що супроводжується хімічними, електрохімічними та електротермічними реакціями [10,11]. В останні роки використовуються різні ерозивні технології

затвердіння, які застосовуються для створення покриттів та корекції мікрогеометрії поверхні [10,12].

Процес насичення при електроіскровому легуванні характеризується такими показниками:

- ефект затвердіння залежить від насичення анодного матеріалу на катодній поверхні; кращі результати були отримані при дуже високому використанні анода твердий і міцний матеріал, тобто карбід вольфраму, титану або хрому;

- зовнішній отвержденний шар є результатом взаємодії анодного і катодного елементів з утворенням твердого розчину, хімічних компонентів, оксидів і нітридів;

- передача та взаємодія електродних матеріалів, а також робота імпульсу при високій температурі та тиску відповідають за ефект посилення та запобігають утворенню надзвичайно нестійких фаз [13].

Найпоширенішими матеріалами для анодних електродів є тверді сплави груп ТК і ВК; графіти марок МПГ-6, -7, -8; ЕЕПГ; графіт кремнію та мідь, бронза, латунь, алюмінієві сплави, бабіти та інші електропровідні матеріали [4].

Покриття з електроіскрових сплавів мають погано протравлену структуру. Поверхневий шар формується у середовищі з високою температурою та високим тиском [14].

Покриття, отримані в результаті електроіскрового легування, застосовуються до:

- 1) захист нових елементів;
- 2) відновити властивості зношених елементів.

Електроіскрове легування стає все більш перспективним методом в технологіях обробки поверхні. Іскрова обробка використовується в промисловості, наприклад для виготовлення імплантатів або ріжучих пластин. Покриття наносяться за допомогою пристроїв, що керуються вручну, або за допомогою роботизованої системи [14].

До переваг ЕІЛ належать можливість локального покриття, низьке енергоспоживання, екологічність тощо.

Однак у ЕІЛ є свої недоліки. Як зазначають автори та згідно з, причиною незадовільного стану поверхні покриттів, отриманих за допомогою установки «Елітрон-26А», є наявність ступеня дуги в імпульсах, що генеруються розрядом. Це призводить до шорсткої поверхні (у вигляді бугрів) з низьким перекриттям. Крім того, дуга змушує електродні матеріали плавитися і взаємодіяти один з одним, внаслідок чого характеризується перетин трубки змінна композиція зі значною часткою катодного матеріалу. Виявлені дефекти знижують конкурентоспроможність іскрових технологій порівняно з традиційними методами [15].

1.2.1 Фізичні основи процесу електроіскрового легування

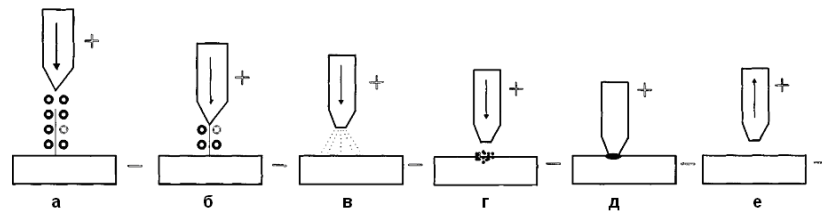
Існують різні схеми процесу електроіскрового легування. Найпоширеніша картина - це коли поверхня, що обробляється, є катодом, а сплав який наноситься є електродом - анодом [4].

Коли анод і катод сходяться, напруженість електричного поля збільшується і на певній відстані між електродами виникає іскровий розряд. Через сформований провідний канал електронна смуга концентровано потрапляє на поверхню анода і нагріває його для розплавлення. Частинки розплавленого матеріалу відокремлюється від анода і переміщується до катода випереджуючи анод [5].

Крапелька нагрівається до високої температури, кипить і «вибухає». Струм переривається, сила стиснення електромагнітного поля зникає, а отримані частинки широко летять (рис. 1.1, в) [5]. Коли вони досягають катода, розплавлені частинки приварюються до нього і частково вкорінюються на його поверхні (рис. 1.1, г) [11]. За частинками рухається анод, включається система, яка встигає знову накопичити енергію. Нагріті частинки, що знаходяться на катоді, супроводжуються другим імпульсом струму, що супроводжується механічним ударом анода. Після

механічного контакту електродів частинки зварюють і нагрівають тонкий шар поверхні катода. Крім дифузійних процесів, між частинками та катодним матеріалом можуть відбуватися хімічні реакції.

Механічний вплив анода формує отримане покриття (рис. 1.1, е), збільшує його щільність, однорідність та міцність адгезії до підкладки. Потім анод рухається вгору (рис. 1.1, д), а на поверхні катода залишається покриття, що складається з анодного матеріалу та продуктів його взаємодії з катодним матеріалом, а також із середовищем [5].



а – момент пробую між електродного проміжку; б – відділення від анода краплі розплавленого металу; в – вибух розплавленої краплі; г – осадження і впровадження матеріалу анода на катоді; д – момент контакту електродів; е – розходження електродів

Рисунок 1.1 – Схема процесу нанесення покриттів на металеві поверхні [5]

Ця модель процесу ЕІЛ призначена для "точного легування", тобто у разі струмів високого напруги та низького струму короткого замикання ($I < 10 \text{ A} - 20 \text{ A}$). У випадку "грубого легування" ($I > 10 \text{ A}$; $U_{\text{хх}} < 50 \text{ В} - 60 \text{ В}$) описана модель потребує певних удосконалень через мале значення відстані пробую між електродами [5].

1.2.2 Вплив параметрів електроіскрової обробки на склад, будову, властивості поверхневих шарів

Для металевих поверхонь надійний результат після ЕІЛ залежить від багатьох взаємопов'язаних умов, таких як інтенсивність процесу (кількість матеріалу, що

передається на лицьову поверхню за одиницю часу), кількість енергії, що виділяється між зазором електрода, частота повторення імпульсу та легуючий матеріал та легуючий матеріал, сплав та газ-носії, які використовуються для введення їх у простір електродів зовні [12].

Процес формування покриттів в ЕІЛ залежить від таких основних факторів: характеру анодних і катодних матеріалів, їх поведінки при іскровому розряді, електричних параметрів процесу, складу навколишнього середовища, часу обробки. Формування покриттів характеризується рядом закономірностей [20].

Характерним явищем є те, що при формуванні шару збільшення часу обробки не призводить до збільшення товщини, а навпаки, з певної точки, до його зменшення. Це пояснюється тим, що в процесі ЕІЛ змінюється хімічний склад катода та його фізико-механічні властивості, характер теплообміну та маси між анодними та катодними матеріалами [20].

У процесі ЕІЛ утворюються карбід, нітриди, оксиди, дисперсія зерна тощо, внаслідок ряду складних фізико-хімічних явищ [21]. По-перше, температура нагріву поверхневого мікрообміну перевищує температуру кипіння матеріалу, а тиск ударної хвилі від електричного розряду досягає значення 7×10^5 кг/мм². По-друге, фазовий склад поверхневого шару катода змінюється в результаті передачі анодного матеріалу [21].

Товщина легованого шару та його якість значною мірою залежать від коефіцієнта перенесення - відношення інтенсивності ерозії анода до збільшення маси катода. Коефіцієнт проникнення зазвичай не перевищує 90 % через часткове випаровування анодного металу [22].

У разі поліморфних перетворень анодного матеріалу після нагрівання спостерігається високотемпературна модифікація анодного матеріалу в поверхневому шарі катода. За відсутності перетворень склад легованого шару визначається переважно розчинністю анодних і катодних матеріалів [13].

Основними змінними параметрами електроіскрового легування є:

- амплітуда коливань;
- струм під час обробки;
- час обробки.

Вважається, що для перехідних металів та тугоплавких металів обробка не повинна займати більше 180 с (3 хв). Крім того, існує розділення між "грубим" та "чистим" легуванням.

У «чистих» режимах легування отримані покриття (легований шар) мають товщину 1 мкм - 5 мкм. У деяких районах відсутній суцільний легований шар і каверни в матеріалі основного зразка, що свідчить про випаровування або перенесення катодного матеріалу в процесі легування [24].

У режимах "грубого" легуванні товщина покриття (до 20 мкм - 40 мкм) значно збільшується, зв'язування "білого" шару на підкладці посилюється, на скипетрі спостерігається дифузійний шар без оксидів і тріщин. Шар сплаву в окремих секціях утворений шаром з високим дифузійним зв'язком між шарами. Окремі глибокі печери на його поверхні також вказують на специфіку процесу ЕІЛ [24].

Залежно від параметрів обробки ефективність процесу ЕІЛ коливається від $0,5 \text{ см}^2/\text{хв}$ до $20 \text{ см}^2/\text{хв}$. Товщина утворених шарів становить від 0,01 мм до 0,2 мм.

Якісну оцінку процесу ЕІЛ можна отримати, вивчивши поведінку та можливості поверхні електрода та катода. Найповнішу інформацію можна отримати, вивчаючи кінетичні зв'язки анодної ерозії (m_a) та росту катода (m_{mk}) в різних режимах обробки та оцінюючи властивості створених покриттів (однорідність, безперервність, товщина, мікротвердість, адгезія тощо) [24].

1.2.3 Імпульсний вплив на метали електричною іскрою

Матеріалознавство в сучасному світі це не лише рухома сила інновації, але і можливість оптимізації вже чинних процесів в багатьох сферах життєдіяльності, такі задачі, як виготовлення надміцних та надпружних матеріалів, екологічних і економічних є пріоритетними. Актуальність даної проблеми залишається і в методі

електроіскрового легування (ЕІЛ), засновниками якого є вчені Б.Р. Лазаренко та М.І. Лазаренко. Метод ЕІЛ за своє існування набув широкого використання у високорозвинених країнах, таких як США, Японії, Німеччині та інших.

Внесок, в історію розвитку методу як наукового напрямку зробили Г.В. Самсонов, А.Г. Бойцов, Ф.Х. Бурумкулов, А.Д. Верхотуров, Г.П. Іванов, В.А. Кім, Іноуе Кієсі та інші [5-9]. Дослідження процесів ЕІЛ, та розробка нових технологій методу дозволяють отримувати на металевих поверхнях покриття які будуть відповідати заданим властивостям і вимогам експлуатації деталей [10].

Зважаючи на такі фактори, як продуктивність, простота, універсальність та простота, метод ЕІЛ здобув широке застосування в промисловості. Процес являє собою взаємодію елементів в умовах, що мають високі показники температури, тиску, та проходять в локальному об'ємі великих електричних та магнітних полів. Ці умови утворюють складну сукупність фізичних явищ, які визначають практично всі особливості процесу електроіскрового легування.

Основним параметром ЕІЛ вважається енергія електричного розряду (W_p), змінюючи яку можемо впливати на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні характеристики виробів [11].

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

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).

1.2.4 Структура та властивості поверхні сталей Ст3 після ЕІЛ Cu, C, Zr, Al

Дослідницької роботи з такими анодами як Co, Ti та Nb немає у відкритому доступі, тому в літературний огляд включив дані дослідницьких робіт з іншими анодами. Досліджена структура сталей Ст3 з використанням анодів алюмінію, міді,

цирконієм графітним анодом.

Під час експерименту було визначено, що найбільшу ерозію аноду можна помітити в стадії нанесення графіту. Це можна пояснити більшою крихкістю графіту у порівнянні з іншими анодами.

Найменша ерозія аноду спостерігається при легуванні цирконієм. Найбільша товщина легованого шару формується при легуванні у послідовності C – Zr – Cu; C – Cu – Zr і становить 15 мкм – 20 мкм, при C – Al – Zr, 10 мкм – 18 мкм, при послідовності Cu – C – Zr; C – Al – Zr, 10 мкм – 15 мкм, при Al – C – Zr, 5 мкм – 10 мкм.

Найбільшу товщину поверхневого шару можна спостерігати в сталей Ст3 у випадку, коли першим легуючим елементом є вуглець. В результаті підвищується концентрація вуглецю в поверхневих шарах сталі і змінюються властивості цієї зони. Під час наступної обробки цирконієм (міддю та алюмінієм) формування поверхневого шару буде відбуватись активніше аніж при взаємодії цих елементів з залізом з меншою концентрацією вуглецю [15].

Мікротвердість легованих шарів підвищується після електроіскрової обробки, в різних послідовностях, зумовлено утворенням пересичених твердих розчинів цирконію, міді та алюмінію в залізі (період заліза збільшується до 2,883Å), а також формуванням карбїду цирконію ZrC та мартенситу.

Найбільше значення мікротвердості має покриття отримане в послідовності Cu – C – Zr (17,9 ГПа); нижче C – Zr – Cu; C – Al – Zr; C – Zr – Al (13,9 ГПа); Al – C – Zr (11,16 ГПа), а мінімальне – C – Cu – Zr (9,14 ГПа).

Найбільше значення мікротвердості в поверхневому шарі після ЕІЛ в послідовності Cu – C – Zr може бути пов'язане з тим, що попереднє насичення сталі міддю, без розчинення вуглецю і з ним не взаємодіє сприяє більш інтенсивній взаємодії цирконія з вуглецем, на наступних стадіях легування, з утворенням карбїду цирконія вміст якого, в легованому шарі, досягає 12 % [15].

Набільше значення мікротвердості в легованому шарі після ЕІЛ в

послідовності Cu – C – Zr може бути пов'язане з тим, що попереднє насичення сталі міддю, яка не розчиняє вуглецю і з ним не взаємодіє сприяє більш інтенсивній взаємодії цирконію з вуглецем на наступних стадіях легування з утворенням карбіду цирконію вміст якого, в легovanому шарі, досягає 12 % [15].

1.2.5 Принципова схема та модель методу, переваги та недоліки ЕІЛ

У процесі ЕІЛ на поверхні електродів утворюються шари зі зміненою структурою в умовах місцевої дії високих тисків (2×10^5 кг/мм² – 7×10^5 кг/мм²) і температур (5×10^3 °C – 40×10^3 °C). Надшвидке розсіювання тепла призводить до того, що в малому підшарі (декількох мікрон) температура різко падає до температури плавлення металу електрода, що супроводжується відповідними фазовими перетвореннями [12].

Процеси кристалізації, фазові переходи, дифузія та твердофазні хімічні взаємодії, що супроводжують ЕІЛ, сприяють утворенню надзвичайно нерівноважних структур з дрібними зернами, високої неоднорідності за складом, структурою та властивостями. В результаті процесу ЕІЛ на катоді утворюється модифікований поверхневий шар. Склад електроіскрового покриття іноді може складатися з фаз, відсутніх в анодному і катодному матеріалі [12].

Різниця між складом легovanого шару і складом електродних матеріалів може бути пов'язана з різними показниками ерозії їх структурних елементів, дисоціацією матеріалу електрода та його взаємодією з середовищем під час проходження через іскровий проміжок та їх здатністю прикріплюватися до основного матеріалу.

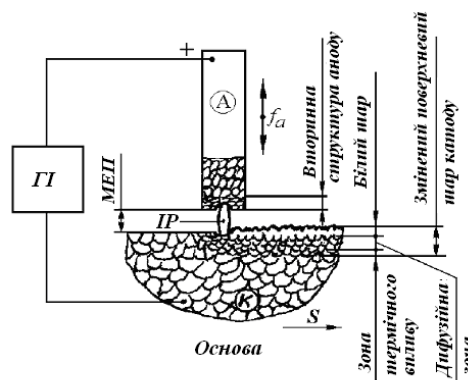
Загальна схема процесу ЕІЛ показана на рис. 1.2. Структура легovanого шару (покриття), отриманого методом ЕІЛ, складається з трьох шарів [11]:

- зона теплової дифузії покривного та основного матеріалу;
- "білий" шар, який являє собою твердий розчин легуючих елементів або елементів, що містяться в матеріалі електрода;
- шар, утворений з уламків твердого основного металу та складних хімічних

сполук, інтерметаліків, нітридів, карбідів, оксидів, що утворився в результаті взаємодії з навколишнім середовищем, а також структури твердіння [12].

Характер "білого" шару ще не повністю встановлений. Наявність пір у цьому шарі, їх форма та характер розташування дозволили визначити, що "білий" шар утворився з рідкого стану. Специфічні властивості цього шару пояснюються прямим перенесенням маси анодного матеріалу на катод та імпульсним впливом на мікроструктуру поверхневого шару при високих тисках і температурах. У процесі нанесення анодного матеріалу на катод можливе інтенсивне перемішування та хімічна взаємодія матеріалів обох електродів, а також взаємна дифузія в процесі одночасної кристалізації. "Білий" шар завжди має прямий контакт із зоною швидкого загартування при високій температурі, яка має тривалий електрохімічний потенціал. Усуваючи вплив цієї зони, "білі" шари можна травити звичайним реагентом [12].

Мікроструктура білого шару, незалежно від використовуваних легуючих елементів, однакова і відрізняється лише загальною товщиною та співвідношенням товщини нижнього та верхнього шарів.



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 [12]

Подібність отриманого шару після легування різними електродами лише підтверджує загальну хіміко-термічну основу для затвердіння всіх електродів (крім графіту), які можна вважати азотуванням електроіскровим іскром, а графіт - цианідом легування [13].

Фазовими компонентами структури армованого шару є аустеніт, нітриди, карбонітриди та загартовані структури (мартенсит, сорбіт, очерет).

Тому структура легованого шару та його склад визначаються характером анодного матеріалу або його структурних компонентів, вони створюються специфікою повторної дії високих тисків і температур на мікроструктуру поверхневого шару та безпосереднього перенесення анодного матеріалу на катод.

Склад "білого" шару відрізняється від складу електродних матеріалів, що є наслідком хіміко-термічного впливу іскрового розряду на матеріали електродів, контакту розплавлених мікрооб'ємів катодного та анодного матеріалів між собою та з елементами міжелектродного середовища, дисоціацією анодного матеріалу через перехід, а також різною швидкістю ерозія структурних елементів та різною адгезійною здатністю анодного матеріалу [14].

1.2.6 Підвищення ефективності електроіскрового легування

Одним з напрямів поліпшення процесу ЕІЛ є створення і оптимізація складу і структури легуючих електродів [15].

Варіювання властивостей, електродних матеріалів дозволяє отримати більш широкий спектр характеристик легованого шару. У той же час вибір матеріалів електродів визначає хімічний і фазовий склад покриття. Аналіз роботи [15] показав суто інтуїтивний, навіть випадковий, вибір матеріалу легуючого електрода безвідносно до призначення покриття і фізико-хімічним особливостям підкладки.

В роботі досліджено температурне окислення вольфрамокобальтових твердих сплавів (ВТС) груп ВК, ТК, ТТ і їх модельних матеріалів W, TiC, WC, Co. Показано зміну хімічного, фазового складу, макроструктури поверхневого шару ВТС при

нагріванні до 1000 °С без захисного шару і після зміцнення методом електроіскрового легування. Встановлено значне збільшення жаростійкості ВТС при формуванні захисного ЕІЛ–покриття нітрідноалюмінооксидної керамікою, а також композиційної керамікою на основі дибориду цирконію, що збільшує працездатність ВТС на 20 % - 40 % [15].

Проведено дослідження поверхневого шару сталі Р6М5 після електроіскрового легування. Отримані результати дозволяють рекомендувати для модифікування поверхні покриття, створені послідовним електроіскровим легуванням електродами Св-04Х19Н11М3 і хромом, а також Св-04Х19Н11М3 і алюмінієм [15].

В роботі представлені результати дослідження фізико-механічних властивостей покриттів, отриманих на титановому сплаві ВТЗ-1 методом електроіскрового легування з використанням різних електродних матеріалів. Встановлено, що електроіскрова обробка призводить до зміцнення поверхні титанового сплаву більш ніж у 2 рази. Найбільша зносостійкість зміненого поверхневого шару спостерігається після електроіскрового легування стандартними твердими сплавами на основі карбїду титану, карбїду титану та вольфраму з добавкою 5 % нанопорошків оксиду алюмінію [15].

У дослідженнях представлені відомості про структуру і фазовий склад електроіскрових покриттів з евтектичних сплавів на залізонікелевій-хромовій основі на сталі 30ХГСА. Встановлено підвищення експлуатаційних характеристик таких покриттів. Проведені дослідження підтвердили ефективність використання евтетичних сплавів на залізонікелевій основі для отримання аморфно-кристалічних електроіскрових покриттів з підвищеною зносо і корозійну стійкість [15].

В роботі виконані комплексні дослідження електроіскрового легування при впливі на процес зовнішніх джерел енергії. Розроблено спосіб електроіскрового легування металевих поверхонь при накладенні на зону обробки магнітного поля з напруженістю в межах (0 - 0,1) Тл при проходженні постійного електричного

струму з щільністю (0,5 - 4,0) А/мм² і імпульсного з амплітудою в межах (100 – 600) А. Створено експериментальне обладнання з автоматичною системою підтримки міжелектродного проміжку зі спеціальним електродним інструментом, що забезпечує обробляє електроду (анода) складний рух: обертання + вібрація + осциляція [15].

Автором встановлені залежності масоперенесення і інтенсивності формування шару покриття на катоді від величини і роду електричного струму, що проходить через обсяги електродів, а також від величини індукції магнітного поля, накладеного на зону легування. Найбільше перенесення еродованого матеріалу анода і, відповідно, приріст маси катода отримані при проходженні через катод постійного струму з щільністю (1 – 3) А/мм² і імпульсного з амплітудою (200 – 500) А, а також при накладенні на зону ЕІЛ магнітного поля з індукцією (0,01 – 0,1) Тл.

Виявлено ефект квазірегулярних осциляції інтенсивності перенесення ерозійної маси анода в іскровому розряді і структурнофазових перетворень в поверхневих шарах катода під впливом магнітного поля, накладеного на зону ЕІЛ. Встановлено залежність інтенсивності формування покриття на катоді від магнітних властивостей обробних електродів і підкладки. Показано, що за інших рівних умов при ЕІЛ підкладки зі сталі СтЗкп електродом з нікелю в магнітному полі інтенсивність масоперенесення ерозійної маси в одиницю часу в 3,5 – 4,0 рази вище, ніж при обробці електродом зі срібла. У поверхневих шарах титанової підкладки при ЕІЛ анодом з нікелю на режимі з енергією розряду 1,0 Дж і значенні індукції рівній 0,07 Тл виявлений ефект аморфизації матеріалу.

Оптимізовано кут нахилу обробного електрода до оброблюваної поверхні, при якому бути місце найбільшому перенесенню матеріалу анода і найбільш інтенсивне формування покриття на катоді. Цей кут становить 8 – 12 градусів. У всіх випадках накладення магнітного поля на зону ЕІЛ сприяє підвищенню зносостійкості і електропровідності. Залежно від природи матеріалу вони можуть

збільшуватися в межах від 15 % до 78 % [15].

Для створення зносотійких покриттів, які використовуються при високих температурах в агресивних середовищах, необхідно знайти літературні джерела в яких описується створення подібних покриттів, методими відмінними від електроіскрового легування.

1.2.7 Створення зносотійких евтектичних кобальтових покриттів

В літературі описується принципи створення зносотійких кобальт-карбідних сплавів, які використовуються для захисту від зносу поверхні газотурбінних двигунів що працюють при температурах до 1100 °С в агресивних умовах експлуатації [13].

В роботі показано, що за основу сплаву обрано кобальт оскільки за комплексом фізико-механічних і службових властивостей у тому числі високотемпературної міцності, опору високотемпературній корозії на повітрі, зварюваності й зносотійкості при підвищених температурах, кобальтові сплави, як основа жароміцних матеріалів є більш перспективними ніж нікелеві. Чим більш об'ємна доля карбідної складової в евтектиці тим вище зносотійкість, кобальт-карбідних сплавів.

Такі евтектичні сплави є природним композитом, в якому дисперсні кристали металевого твердого розчину зберігають пластичність та міцність, а дисперсні кристали карбіду утворюють міцний каркас, що гальмує пересування дислокацій і надає сплаву твердості.

В роботі встановлено, що сплави системи Co-NbC-TiC з евтектичною реакцією кристалізації дозволяють отримати композиційний зносотійкий матеріал [13].

В роботі визначено експериментально комплекс легуючих елементів для зміцнення кобальтової основи в межах (мас. %): 20 % - 25 % Cr, 1 % - 3 % Mo, 2 % - 4 % W, 1 % - 2 % Al з урахуванням того, що молібден підвищує, характеристики пластичності кобальту, хром бере участь у карбідоутворенні і

стабілізує стан поверхні, вольфрам зміцнює твердий розчин, алюміній, підсилює поврехневий опір гарячій корозії і окисленню (до 700 °С) [13].

Вміст вуглецю у сплавах, перевищує 2 відсотки, що робить можливим утворення достатньої кількості карбідної фази такий сплав отримав маркування ХТН-37 [13].

Цей сплав захищений патентом зареєстрованим в Держстандарті України [13].

В роботі показано, що збільшення зносостійкості відбувається при збільшенні вмісту евтектичних карбідних кристалів у структурі матеріалу. Максимум зносостійкості досягається у сплавах із структурою квазіевтектики при вмісті 16 мас.% – 17 мас.% (Nb,Ti)C [13].

Зносостійкість розробленого ливарного кобальтового сплаву ХТН-37, який був отриманий в системі Co-(NbTi)C на основі рівноважної кристалізації евтектики в цій системі. Обумовлена евтектичною структурою, в якій легований твердий розчин на основі кобальту армований дисперсними кристалами карбиду (NbTi) C, об'ємна частка яких становить – 16 %.

Структурна та фазова стабільність, температурне плавлення, що перевищує 1300 °С, в специфічних умовах у поєднанні з розробленою системою легування різко зменшує знос матеріалу в агресивному середовищі згорання авіаційного палива при температурі випробування до 1000 °С.

Наплавний матеріал, який був запропонований для підвищення зносостійкості торців бандажних полиць робочих лопаток ГПД, збільшує гарантійний ресурс їх експлуатації.

1.3 Висновки до розділу 1

На основі огляду літератури можна зробити висновок, що метод електроіскрового легування є ефективним і в даний час успішно застосовується для створення покриттів із комплексом поліпшених властивостей і має досить великі

перспективи. Однак через складність процесів, що відбуваються в матеріалі під впливом високоенергетичного імпульсу, досі не існує достатньо науково обґрунтованих принципів, що забезпечують розкриття всіх потенціалів цих методів обробки поверхні.

Тому вдосконалення існуючих та розробка нових технологій (схем обробки) для отримання поверхні металевих функціональних покриттів із специфічним набором підвищених фізико-механічних та триботехнічних властивостей дозволить збільшити термін служби, надійність та конкурентоспроможність деталей, дозволить відновити робочу пару інструменту та пари тертя.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження являлися зразки, виготовлені зі сталі СтЗкп, циліндр діаметром ~10 мм. Вибір цього матеріалу визначався тим, що він використовується в елементах зварних та несучих конструкцій і деталей, що працюють при знакозмінних навантаженнях в агресивному середовищі.

2.2 Методика проведення експерименту

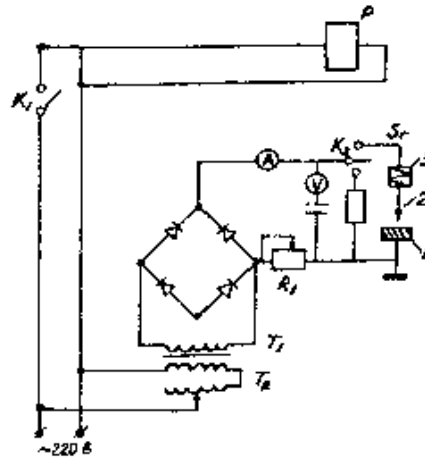
Експлуатаційні вимоги до сучасних матеріалів є дуже високими і щоденно вимоги стають все суворішими. Пріоритетними завданнями для сучасного матеріалобудування є розробка методології модернізації матеріалів, оптимізація цих методологій та зменшення їх вартості.

Установки для електроіскрового легування складаються в основному з трьох вузлів: понижуючого трансформатора, випрямлячів, конденсаторів, а також вібратору. Більшість установок працює на випрямленому пульсуючому струмі із живленням від промислової мережі змінного струму напругою 220 В.

Робота установки для електроіскрового легування ґрунтується на тому, що на обкладинках конденсатора спочатку накопичується електрична енергія, яка потім миттєво звільняється між електродами. Комутація ланцюгу розрядного контуру здійснюється за допомогою вібраційного пристрою.

В нашій експериментальній роботі ми використовували такі аноди: Со, Ті, Nb. Наносили їх в такому режимі: Со (3 хв.), Nb (3 хв), Ті (3 хв), Со (3 хв) – Nb (3 хв) – Ті (3 хв) – Со (3 хв) , Nb (3 хв) – Ті (3 хв) – Со (3 хв).

Для нанесення покриттів була використана стандартна промислова установка для електроіскрового легування “ЕЛІТРОН – 26А”, схема якої наведена на рис. 2.1.



1 – зразок (катод); 2 – допоміжний електрод (анод); 3 – вібратор [25]

Рисунок 2.1 – Схема установки “ЕЛІТРОН – 26А” [12]

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

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



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд приладу “ЕЛІТРОН – 26А”

Використовувався наступний режим: $I = 1,4 \text{ А}$; $\tau = 120 \text{ сек/см}^2$; $f = 100 \text{ Гц}$; між електродний простір (МЕП) = 1 мм .

В якості матеріалу покриття (аноде) використовувались матеріали: Co, Nb, Ti.

2.3 Методи дослідження

2.3.1 Метод визначення мікротвердості

Мікротвердість шліфів вимірювали на приладі ПМТ-3М. Значення мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з квадратною підставою і двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 100 – 200 г на протязі 8 – 10 секунд. 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 [12]:

$$H_\mu = 1854 \times P / (d_{0.3}) \quad (2.1)$$

де H_μ - значення мікротвердості;

P - навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою 20 г – 50 г складає $\pm 0,1$ мг);

$d_{\text{сеп}}$ - середнє значення довжини діагоналі;

$$d_{\text{сеп}} = (d_{i1} + d_{i2}) / 2 \quad (2.2)$$

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

Найбільша основна похибка окуляр-мікрометра на всьому діапазоні вимірювань складає ± 2 мкм у відповідності з паспортом. Похибка вимірювання середнього значення довжини діагоналей відбитка визначається за формулами [26]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{\text{сеп}} - (d_{i1} + d_{i2}) / 2)^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

де n - кількість вимірювань, таким чином значення мікротвердості визначається за формулами:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.4)$$

$$H_\mu = \frac{1,854 \cdot P}{(d_{cp} \pm \sigma_0)^2}, \quad (2.5)$$

де σ_0 - довірчий інтервал.

Відносна похибка вимірювання δH_μ визначається:

$$\delta H_\mu = \left| \frac{H_\mu(d_{cp}) - H_\mu(d_{cp} \pm \sigma_0)}{H_\mu(d_{cp})} \right| \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta H_\mu = H_\mu(d_{cp}) - H_\mu(d_{cp} \pm \sigma_0), \quad (2.7)$$

Коефіцієнт зміцнення ($K_{зм.}$) розраховувався як співвідношення найбільшого значення мікротвердості легованого шару до мікротвердості основи

2.3.2 Мікроструктурний аналіз

Пробопідготовка, необхідний етап для початку роботи над мікроструктурним аналізом зразка. Досліджувані зразки закріплювали у струбцинах (між леговою поверхнею та струбциною закладали мідну пластинку) та робили поперечний шліф. В роботі над підготовкою зразка використовується абразивний папір (від 600 до 2500). Шліфування починають на папері з крупним зерном, поступово переходячи до обробки папером з більш дрібним зерном. На кожному виді абразивного матеріалу зразок шліфують до тих пір, поки повністю не зникнуть всі сліди подряпин від попередньої операції.

Надалі зразок очищують від налиплих порошинок абразиву та зі шліфованого матеріалу переходять до шліфування папером з дрібнішим абразивом (мікронку).

Зазвичай виявляється достатнім використання 4 – 5 номерів шліфувального паперу. Після завершення шліфування зразок ретельно промивється під струменем води та висушується.

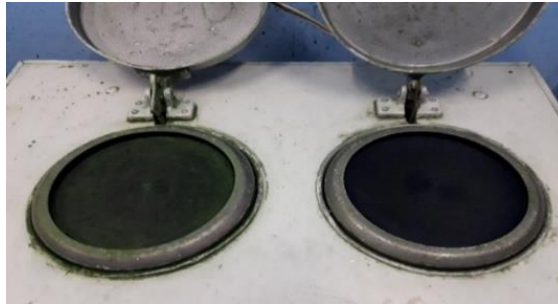
На рисунку 2.3 зображена установка на якій було проведено шліфування нашого дослідного зразку.



Рисунок 2.3 – Установка для проведення шліфування зразків

Полірування зразку слугує для зменшення нерівностей на плоскій поверхні зразка. Закінчують полірування при зникненні з поверхні будь-яких щілин і подряпин та досягненні нею дзеркальної гладкості. Полірування проводилось на полірувальних кругах (рис. 2.4), вкритих фетром з додаванням водного розчину оксиду хрому (рис. 2.4, а) та води (рис. 2.4, б).

Для визначення структури зразок травили 20 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.



а

б

а – на водному розчині оксиду хрому; б – на воді

Рисунок 2.4 – Полірувальні кола

Мікроструктура зразків розглядалась на металографічному мікроскопі МИМ-10 при різних збільшеннях. Фотографування мікроструктур поверхневих ділянок зразків відбувалося за допомогою камери DCM310.

2.3.3 Гравіметричний аналіз

Кінетику масопереносу вивчали гравіметричним методом із точністю 10^{-4} г, вимірюючи сумарний ($\sum^t \Delta m_k$) приріст маси катоду та сумарну ($\sum^t \Delta m_a$) ерозію аноду через кожну хвилину обробки.

Визначали сумарну ерозію аноду $\Sigma \Delta m_a$ та сумарний приріст маси катоду $\Sigma \Delta m_k$:

$$\Sigma \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.8)$$

$$\Sigma \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.9)$$

де t_n – час n-го вимірювання маси зразка;

t_0 – до ЕІЛ.

Коефіцієнт масоперенесення знаходиться із співвідношення [12]:

$$K = \left| \frac{\Sigma \Delta m_k}{\Sigma \Delta m_a} \right| \times 100\% . \quad (2.10)$$

Контроль маси електродів проводився з використанням лабораторних вагів «AXIS AD50» (точність вимірювання 0,0005 г).

За одержаними результатами будували криві $\Sigma\Delta m_k$ та $\Sigma\Delta m_a$ в залежності від тривалості обробки.

2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз

Проведено рентгеноструктурний аналіз поверхні легованого шару Rigaku. Рентгеноструктурний аналіз проводився з використанням сучасних способи отримання та обробки даних рентгенівської дифракції, реалізований на дифрактометрі Ultima IV, оснащеному лінійним сцинтиляційним лічильником. Зйомка велася під мідним випромінюванням $\lambda_{\alpha-Cu}$ ($\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$).

Фазовий аналіз ґрунтується на експериментальному та теоретичному порівнянні дані міжпланарної відстані (d/n) та інтенсивності лінії, отримані шляхом опромінення зразка рентгенівським променем. Інтенсивність рефлексу залежить від рентгенівського апарату: напруга лампи; струм через трубу; розмір тріщин; режим роботи лічильника, рентгенівські кванти.

Ступінь чутливості рентгенофазового аналізу - це мінімальна кількість речовини в суміші, достатня для визначення присутності цієї фази в наборі зразків її характерних рефлексів. Чутливість різна для різних фаз і різних фазових сумішей. Чим більший, тим вищий коефіцієнт відбиття атомної площини фази, присутність якої необхідно виявити, і тим слабше фон дифракційної картини. Необхідно також враховувати співвідношення коефіцієнтів поглинання для всієї суміші та випробуваної фази. Рентгенівські речовини з високою дисперсією легко виявляються в погано диспергованій суміші. Сполуки легких елементів у поєднанні із сполуками важких елементів можна виявити лише завдяки високому вмісту.

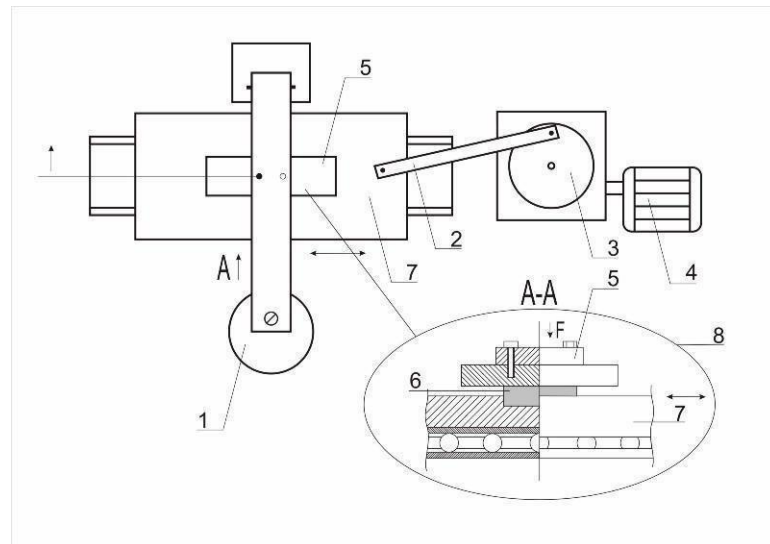
Чутливість рентгенологічного аналізу різко падає, коли лінії досліджуваної фази розмиваються через наявність мікронапруг або диспергування зразка або його неоднорідності в складі або в результаті утворення твердого розчину.

Якщо фаза, наявність якої виявлена, має текстуру, тобто кристали мають домінуючу орієнтацію в певному кристалографічному напрямку, це призводить до того, що деякі лінії на дифракційному малюнку посилюються, а деякі, навпаки, зникають. З цієї причини підвищується чутливість фазового аналізу, оскільки наявність сильних ліній може виявити меншу кількість фази, ніж за відсутності текстури [17].

2.3.5 Дослідження на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проводилися на оригінальній фрикційній машині для визначення зносостійкості шарів сплаву за принципом зворотно-поступального руху в умовах контактного зносу із сухим тертям-ковзанням "площиною по площині".

Загальна схема фрикційної машини наведена на рис. 2.5. Загартовану інструментальну сталь Р6М5 використовували як контрольний матеріал.



1 – навантаження (гиря); 2 – шатун; 3 – колінчата передача; 4 – електродвигун; 5 – контртіло; 6 – зразок; 7 – станина; 8 – загальна схема тертя

Рисунок 2.5 – Загальна схема машини тертя [39]

Принцип установки такий: обертання від двигуна постійного струму передається на шатун. Рухома платформа відповідає на рейки за допомогою шатуна, прикріпленого до обертової частини редуктора. Тестовий зразок розміщується на мобільній платформі, яка контактує з протилежним важелем під час навантаження (маси) 4 кг. Зносостійкість оцінювали за ваговим методом, зважуючи зразок до і після випробування кожні 20 хвилин. Загальний час споживання для кожного зразка становило 120 хвилин. Зносостійкість оцінювали на основі втрати маси, яка вимірюється на аналітичному балансі з точністю 0,0005 г. Втрата ваги - це інтенсивність зносу, г/см^2 за формулою, після розрахунків за формулою отримані криві споживання залежно від часу на кожен зразок.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір досліджуваного матеріалу - Сталі СтЗкп, анодів Со, Nb, Ті для ЕІЛ з метою поверхневого зміцнення.

2. Для встановлення властивостей поверхневих шарів після ЕІЛ використовувались такі методи, як мікродюрOMETричний, гравіметричний, мікроструктурний, рентенофазовий аналіз та дослідження на зносостійкість.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Електроіскрове легування сталі СтЗкп Со, Nb та Ti

В якості анодів при ЕІЛ було використано аноди Со, Nb та Ti.

Проведено ЕІЛ, кожним анодом окремо та проведено дослідження масоперенесення, мікроструктури та мікротвердості. Електроіскрове легування кожним з анодів тривало 3 хв.

Наступним етапом було проведення пошарового ЕІЛ в послідовності: Со(3 хв) – Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Со(3 хв) та Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Со(5 хв).

Проведено ЕІЛ кобальтовим анодом (Со). На рис. 3.1 представлений графік, що характеризує зміну мікротвердості за глибиною в поверхневому шарі сталі СтЗкп після нанесення ЕІЛ Со впродовж 3 хв. Товщина покриття складала 14 мкм.

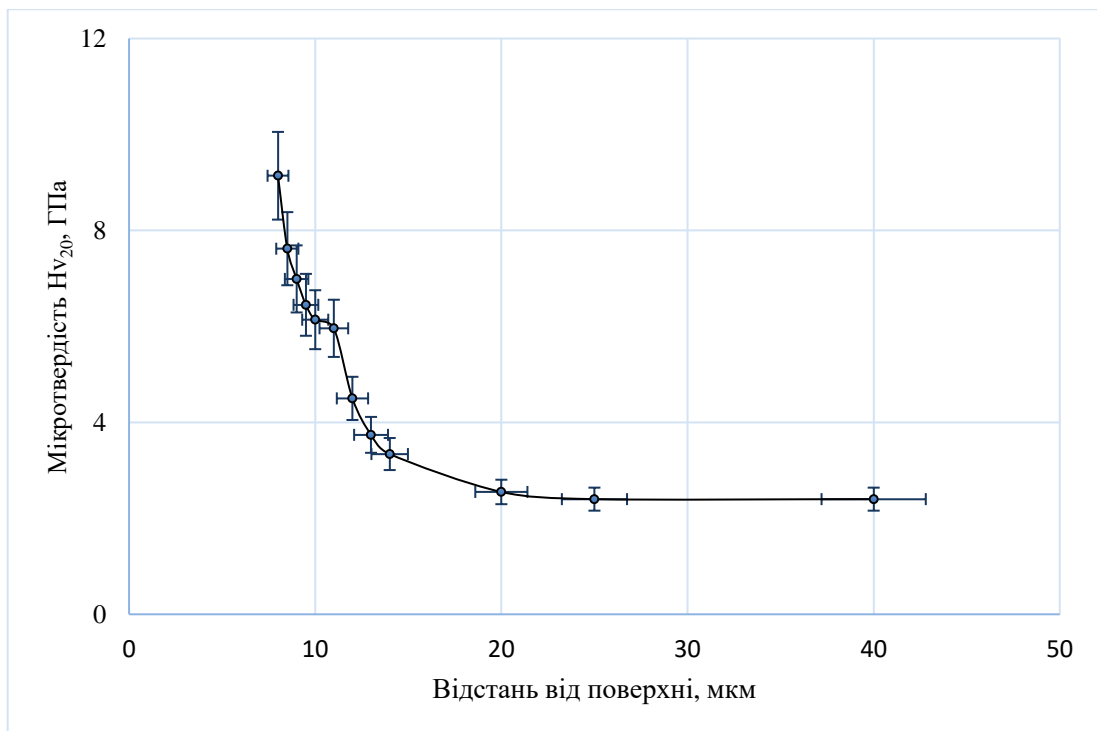


Рисунок 3.1 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі СтЗкп після ЕІЛ Со

Аналіз представленого графіка свідчить про те, що електроіскрове легування

суттєво підвищує мікротвердість до 9,1 ГПа. Надалі значення зменшуються і коливаються до глибини 14 мкм, після, мікротвердість набуває значення основи 2,4 ГПа. Коефіцієнт зміцнення складає 3,8, різниця зображена на рис.3.2.

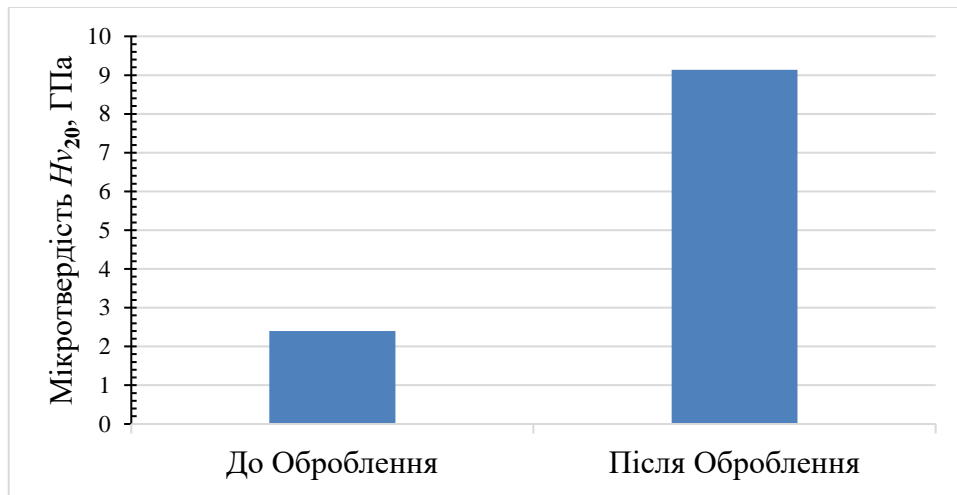


Рисунок 3.2 – Мікротвердість зразка сталі Ст3кп у вихідному стані та після ЕІЛ Со

В процесі ЕІЛ проводився гравіметричний аналіз, для вивчення кінетики формування покриття. Відбувалося зважування зразка та легувального аноду після кожної хвилини обробки. Графіки залежності сумарного приросту маси катоду ($\Sigma\Delta m_k$) та ерозії анодів ($\Sigma\Delta m_a$) під час ЕІЛ кобальтом сталі Ст3кп, графік масоперенесення зображений на рис. 3.3.

Створення поверхневого шару за допомогою ЕІЛ кобальтом характеризувалось збільшенням маси катоду та зменшенням маси аноду.

Також за даними гравіметричного аналізу в процесі ЕІЛ відбувається неперервне перенесення матеріалу аноду (кобальту) на катод та зростання маси катоду в результаті чого, ймовірно, формується легований шар обмеженого твердого розчину кобальта в залізі та необмеженого розчину гамма заліза в кобальті

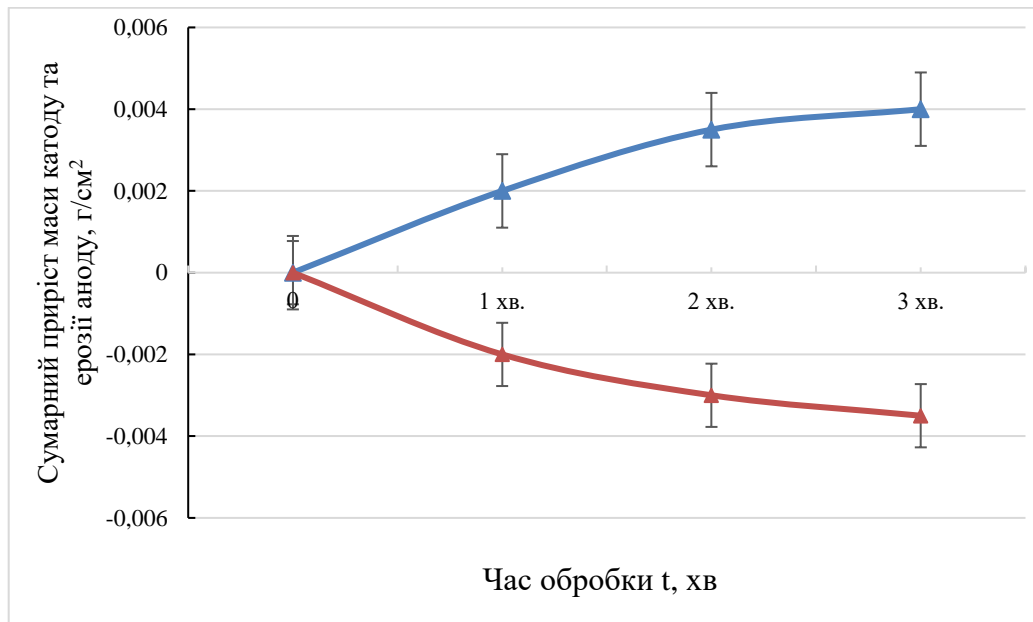


Рисунок 3.3 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ кобальтом сталі СтЗкп

Мікроструктура поверхневого шару після ЕІЛ кобальтом зображено на рис.3.4.

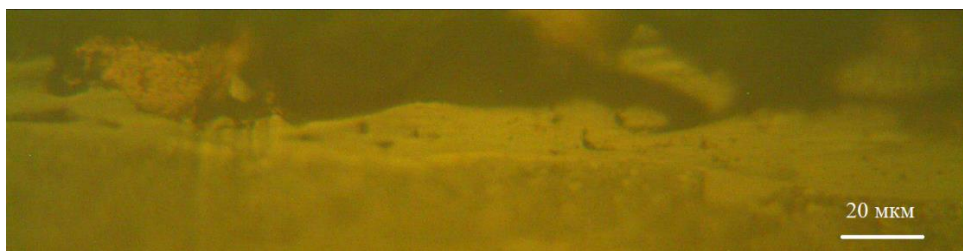


Рисунок 3.4 – Мікроструктура поверхневої зони сталі СтЗкп після електроіскрового легування Со

ЕІЛ сталі СтЗкп Ніобієм, $t_M = 3$ хв та гравіметричний аналіз впродовж експерименту. Максимальне значення мікротвердості поверхневого шару 7 ГПа.

На рис. 3.5 зображений графік мікротвердості поверхневого шару після ЕІЛ Nb анодом сталі СтЗкп.

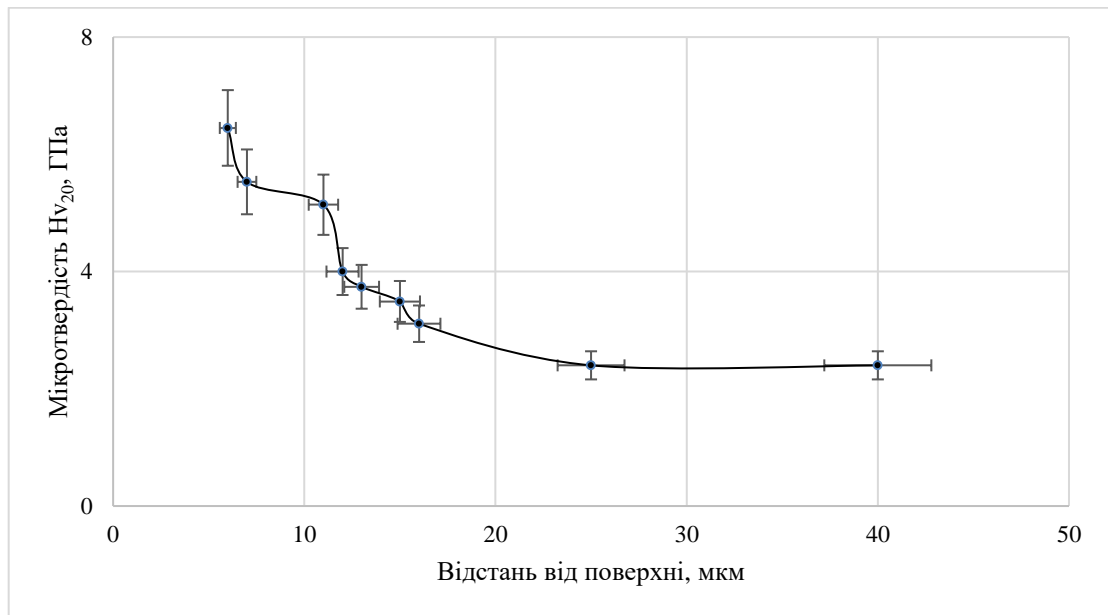


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості зразка сталі СтЗкп після ЕІЛ Nb

При середній товщині поверхневого шару 15 мкм, коефіцієнт зміцнення складає 2,9. На рис. 3.6 відображена порівняльна діаграма мікротвердості основи та максимальної твердості поверхневого шару.

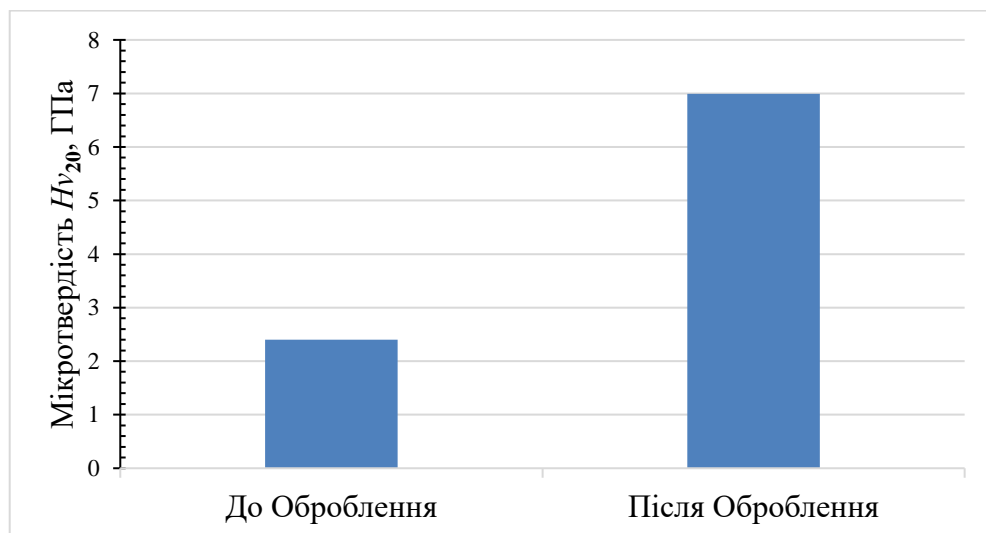


Рисунок 3.6 – Мікротвердість зразка сталі СтЗкп з ЕІЛ Nb

Масоперенесення при ЕІЛ Nb відрізняється від масоперенесення при ЕІЛ кобальтом. Відбувається більш інтенсивна ерозія аноду. На рис.3.7 зображений графік приросту маси катоду та ерозії аноду.

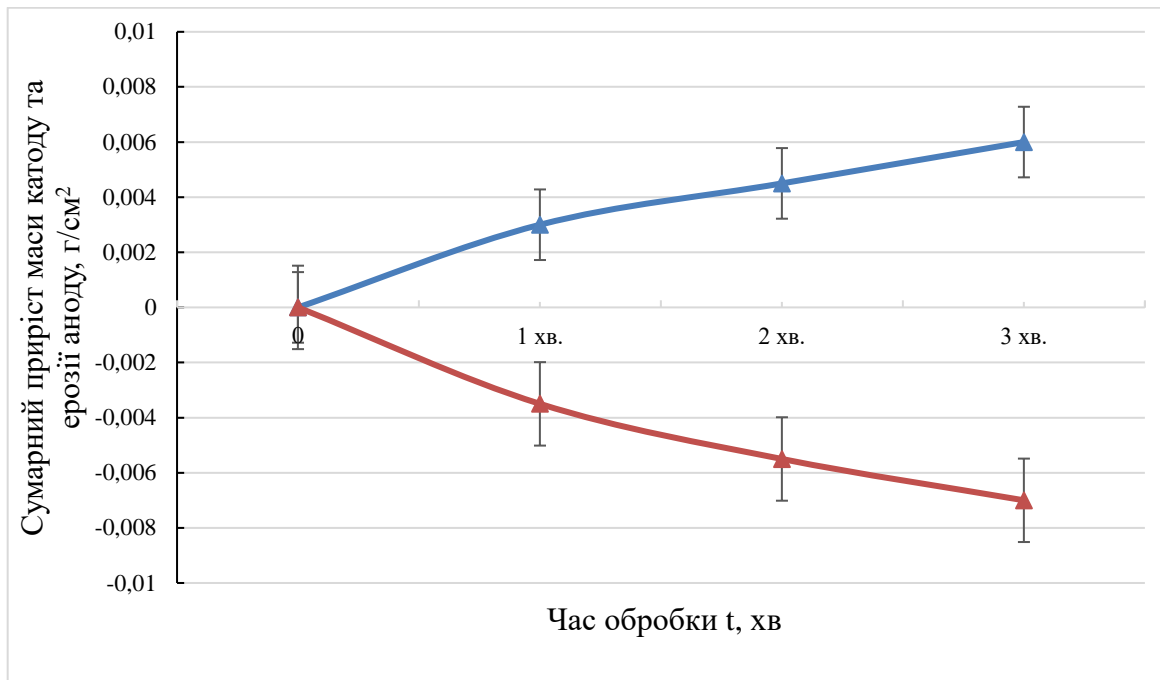


Рисунок 3.7 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії аноду від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі Ст3кп Nb анодом

Мікроструктура поверхневого шару сталі Ст3кп після ЕІЛ ніобієм наведена на рис. 3.8. Середня товщина поверхневого шару складає 15 мкм.

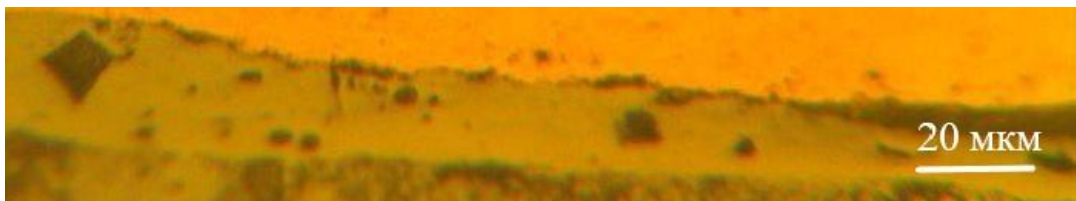


Рисунок 3.8 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3кп після електроіскрового легування Nb

Було проведено ЕІЛ сталі Ст3кп титаном. Розподіл мікротвердості поверхневого шару за глибиною наведений на рис. 3.9. Максимальне значення мікротвердості поверхневого шару дорівнює 15,7 ГПа.

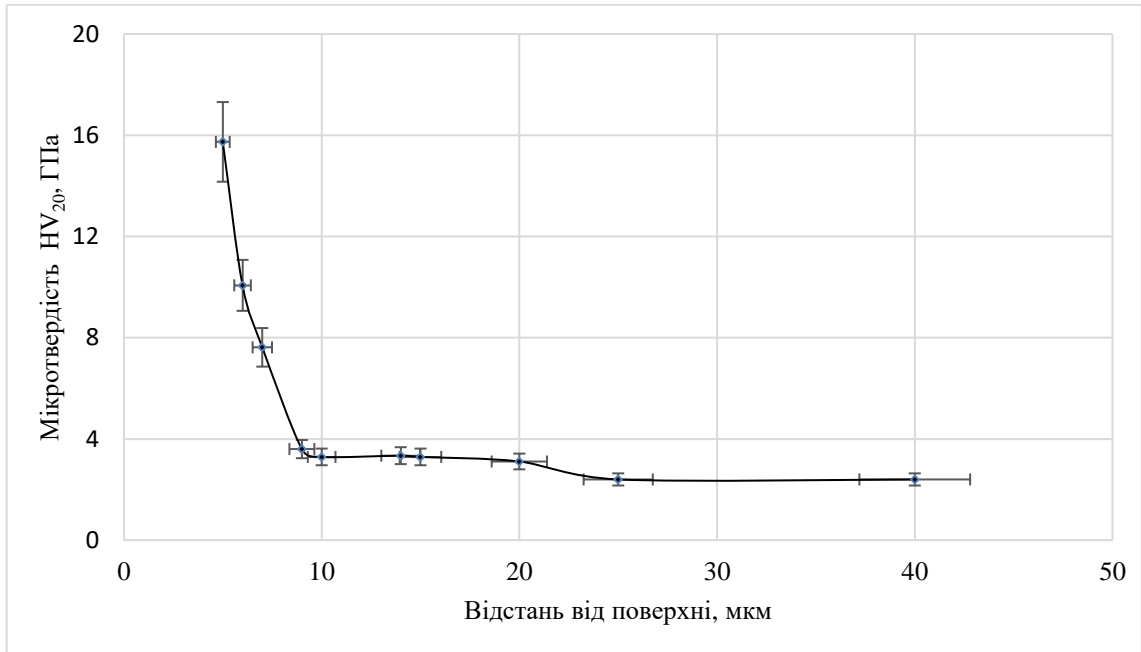


Рисунок 3.9 – Розподіл мікротвердості зразка сталі СтЗкп з ЕІЛ Ті

При ЕІЛ титановим анодом, помітне значне зростання мікротвердості в поверхневому шарі у порівнянні з ЕІЛ Со та Nb. При цьому поверхневий шар є нерівномірним, товщиною 10 мкм. Порівняльна діаграма мікротвердості зображено на рис. 3.10.

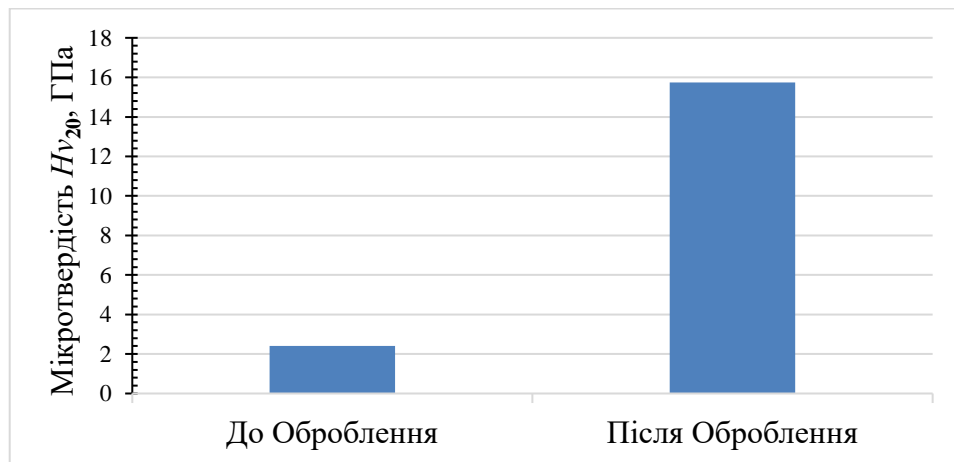


Рисунок 3.10 – Мікротвердість зразка сталі СтЗкп з ЕІЛ Ті

Коефіцієнт зміцнення рівний 6,5. Значний рівень зміцнення може бути обумовлений створенням в поверхневій зоні карбідів титану.

Графік масоперенесення при обробленні титаном зображено на рис. 3.11.

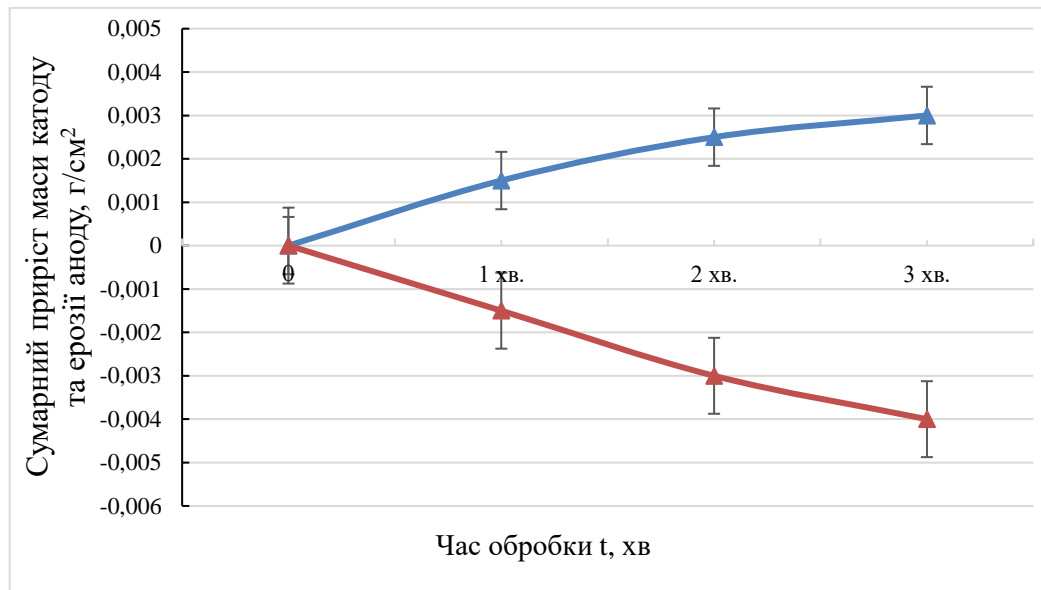


Рисунок 3.11 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ Ті сталі СтЗкп

Дані гравіметричного аналізу, які показують, що при обробленні титановим анодом відбувається значна ерозія аноду відносно оброблень Со та Nb. Мікроструктурна поверхневого шару зображена на рис. 3.12.



Рисунок 3.12 – Мікроструктура поверхневої зони Сталі СтЗкп після електроіскрового легування Ті

3.2 Пошарове ЕІЛ сталі СтЗкп, анодами Со, Nb та Ті

Проведено ЕІЛ за схемою Со(3 хв) – Nb(3 хв) – Ті(3 хв) – Со(3 хв). Після електроіскрового легування утворився поверхневий шар товщиною 25 мкм – 35 мкм. МікродюрOMETричний аналіз показав, що коефіцієнт зміцнення складає 4,2, графік показано на рис.3.13.

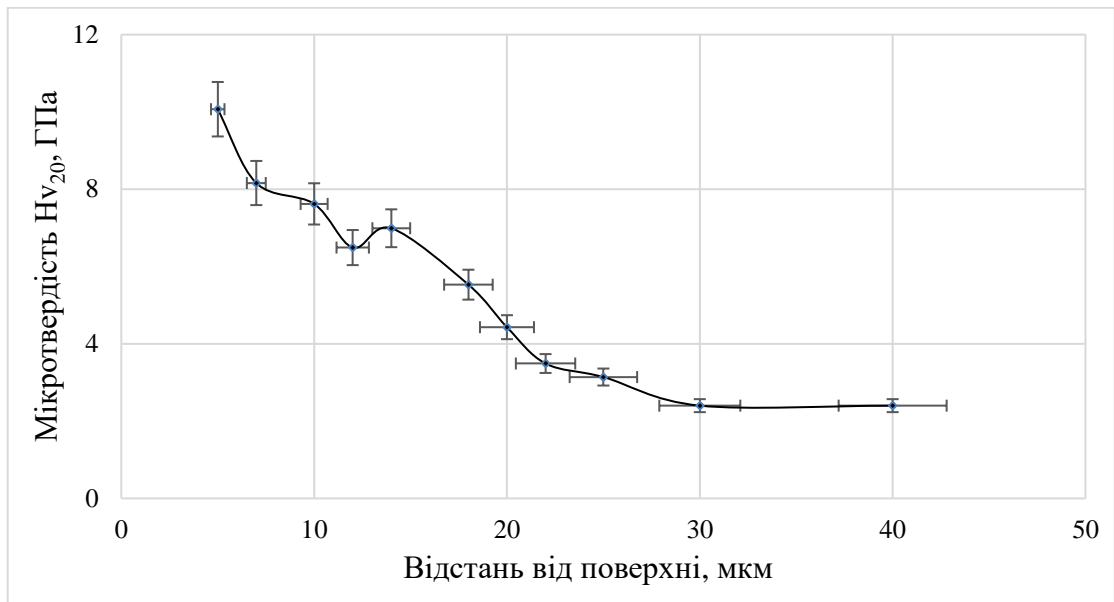


Рисунок 3.13 – Розподіл мікротвердості зразка сталі СтЗкп з покриттям (Co-Nb-Ti-Co)

Максимальне значення мікротвердості поверхневого шару складає 10 ГПа.

Гравіметричний аналіз показує значний приріст маси катоду та ерозію аноду, графік зміни мас зображений на рис. 3.14. Під час електроіскрового легування маса катода збільшується. Водночас відбувалась ерозія анода кобальту, ніобію та титану, приріст маси катоду спостерігається впродовж усього процесу електроіскрового легування.

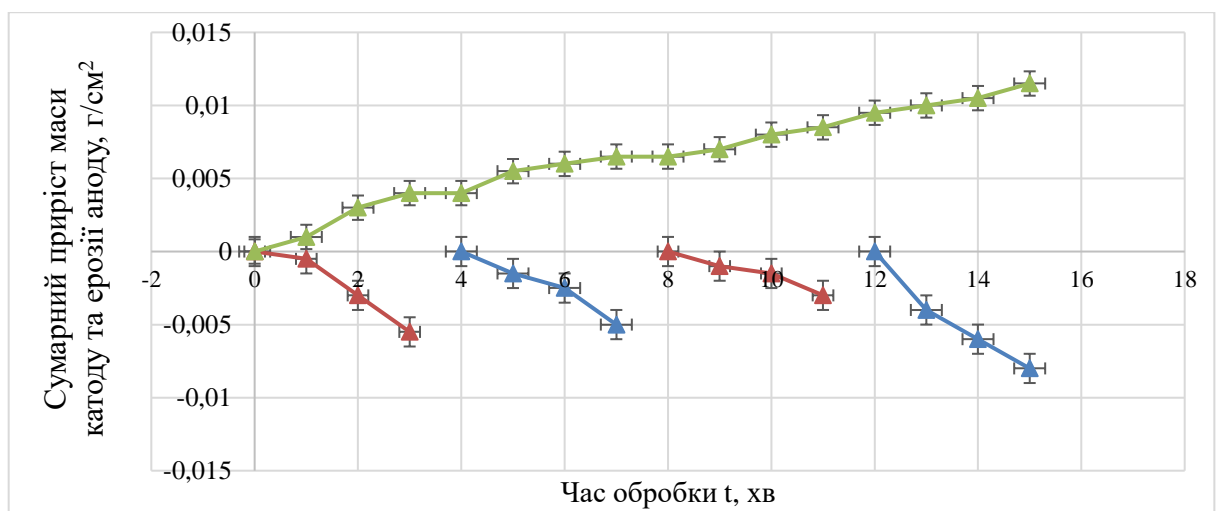


Рисунок 3.14 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ (Co-Nb-Ti-Co) сталі СтЗкп

Товщина легованого шару при такому режимі мала найбільше значення – 35 мкм у порівнянні з усіма процесами ЕІЛ (рис. 3.15)

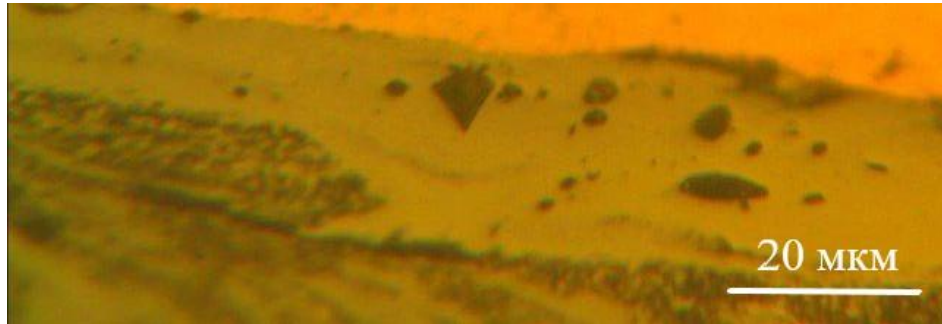


Рисунок 3.15 – Мікроструктура поверхневої зони Сталі СтЗкп після електроіскрового легування (Co-Nb-Ti-Co)

За результатами рентгенофазового аналізу після обробки сталі СтЗкп анодами у послідовності Co(3 хв) – Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Co(3 хв) в легованому шарі було виявлено такі фази: кобальт, титан, карбід титану TiC та інтерметалід β – Co₂Ti. Розрахунок дифрактограми та сама дифрактограма наведені на рис. 3.16 та в табл. 3.1 (відповідно).

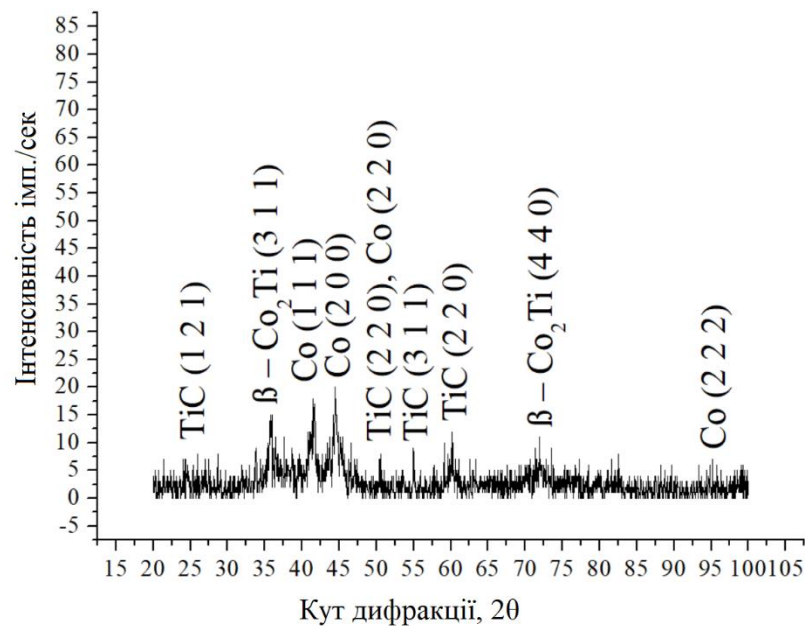


Рисунок 3.16 – Дифрактограма легованого шару на сталі СтЗкп після ЕІЛ за схемою Co-Nb-Ti-Co

Можна відмітити, що ЕІЛ кобальтом на останній стадій процесу ЕІЛ призводить до утворення інтерметаліду $\beta - \text{Co}_2\text{Ti}$.

Таблиця 3.1 – Результат фазового рентгенівського дослідження сталі СтЗкп після ЕІЛ анодами кобальту титану та ніобію

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань $d, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
1	26,8621	2,50195	TiC (1 2 1)
2	37,65(8)	2,167(4)	$\beta - \text{Co}_2\text{Ti}$ (3 1 1)
3	42,55(5)	2,032(2)	Co (1 1 1)
4	45,4828	1,80634	Co (2 0 0)
5	53,6897	1,5247	TiC (2 2 0), Co (2 2 0)
6	56,1724	1,32367	TiC (3 1 1)
7	61,0345	1,245	TiC (2 2 0)
8	74,3245	1,117	$\beta - \text{Co}_2\text{Ti}$ (4 4 0)
9	96,4535	1,01273	Co (2 2 2)

ЕІЛ сталі СтЗкп в послідовності Nb – Ti – Co приводить до збільшення мікротвердості поверхневого шару до 7,6 ГПа (рис. 3.17). Коефіцієнт зміцнення дорівнює 3,2. Товщина поверхневого шару знаходиться в межах 14 мкм – 23 мкм.

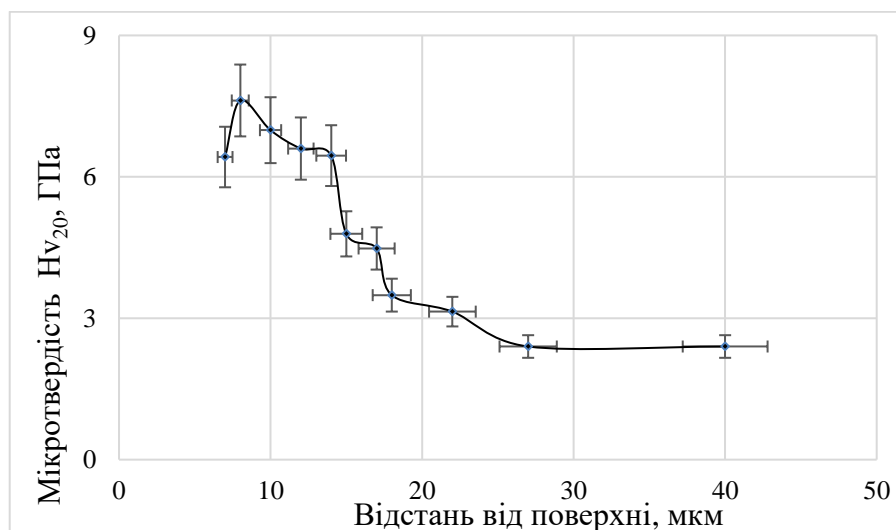


Рисунок 3.17 – Розподіл мікротвердості сталі СтЗкп з покриттям (Nb–Ti–Co)

Масоперенос при обробленні по даній схемі зображено на рис.3.18.

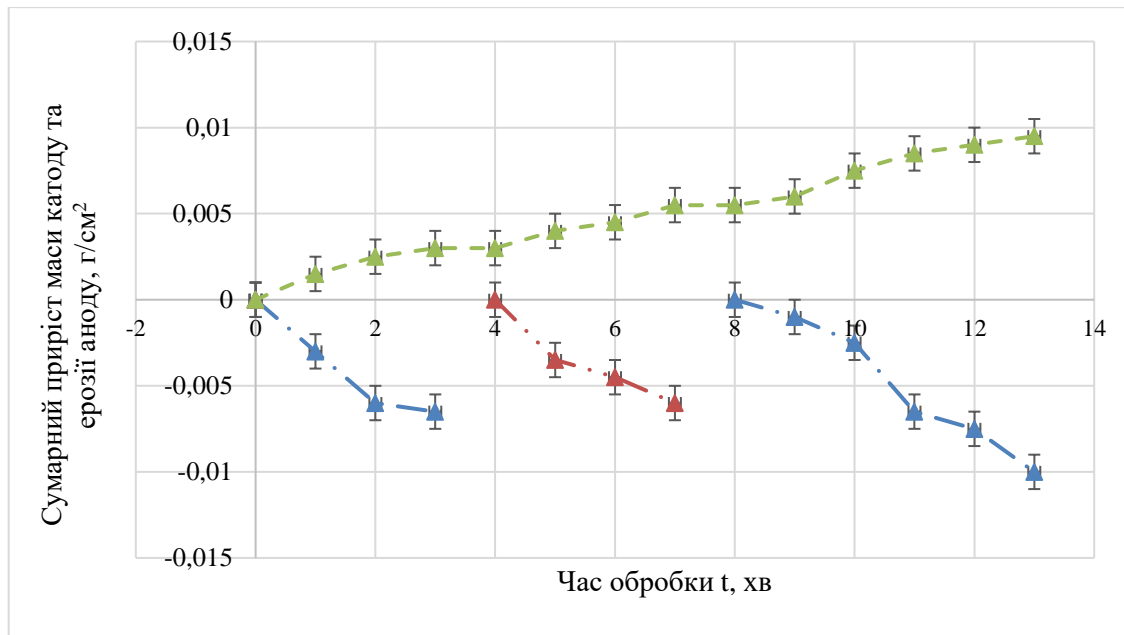


Рисунок 3.18 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ (Co-Nb-Ti-Co) сталі СтЗкп

Вигляд мікроструктури після оброблення ЕІЛ за схемою Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Co(5 хв) зображено на рис. 3.19.

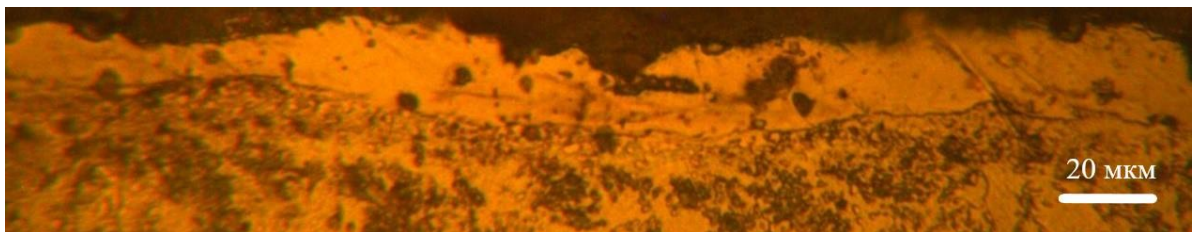


Рисунок 3.19 – Мікроструктура поверхневої зони Сталі СтЗкп після електроіскрового легування (Nb-Ti-Co)

Аналіз отриманих експериментальних результатів дозволяє виявити деякі закономірності у зміні мікротвердості легованих шарів пов'язаних з природою анодів та послідовністю їх нанесення.

Більш високе значення мікротвердості поверхневого шару, при легуванні титаном сталі СтЗкп у порівнянні з ЕІЛ кобальтом та ніобієм ймовірно, обумовлене

тим, що титан має найбільшу карбідо і нітридо утворюючу здатність у порівнянні з цими елементами. В зв'язку з цим в процесі ЕІЛ ймовірно виникала більша кількість дисперсних нітридів та карбідів ніж при легуванні кобальтом і ніобієм, що і призводило до більш високих значень мікротвердості. Утворення великої кількості карбідів, призводить до високих внутрішніх напружень, які можуть приводити до крихкого руйнування поверхневих ділянок легованого шару.

Збільшення товщини легованого шару до 35 мкм після ЕІЛ по схемі $\text{Co}(3 \text{ хв}) - \text{Nb}(3 \text{ хв}) - \text{Ti}(3 \text{ хв}) - \text{Co}(3 \text{ хв})$, може бути пов'язано з тим, що легування кобальтовим анодом сталі СтЗкп на першому етапі пошарового нанесення, призводить до виникнення необмеженого твердого розчину заліза в кобальті. Формування твердого розчину заліза в кобальті може також відбуватись на останній стадії легування кобальтом.

3.3 Зносостійкість поверхні сталі СтЗкп після ЕІЛ за схемою $\text{Co} - \text{Nb} - \text{Ti} - \text{Co}$ та $\text{Nb} - \text{Ti} - \text{Co}$

Для виявлення зносостійкості легованих шарів, одержаних під час ЕІЛ, та вихідного зразка сталі СтЗкп проведені випробування за схемою "площина по площині" на оригінальній машині тертя протягом 120 хв. (рис. 3.20).

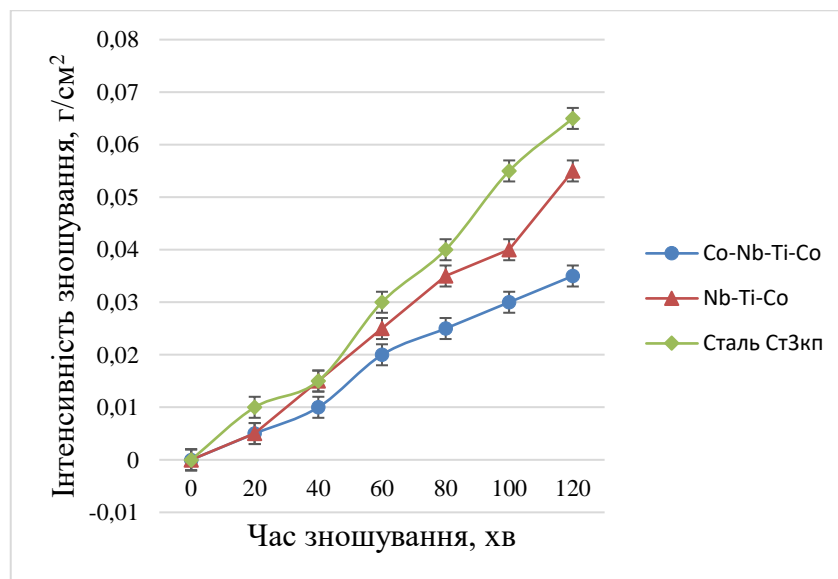


Рисунок 3.20 – Інтенсивність зношування поверхні шару сталі СтЗкп

За побудованими кривими інтенсивності зношування видно, що зносостійкість зразка з електроіскровим покриттям, утвореним за схемою Co – Nb – Ti - Co, у 1,85 рази перевищує значення сталі без обробки. Зносостійкість покриття утвореного в послідовності Nb-Ti-Co у 1,57 рази більша за зносостійкість нелегованої основи. Підвищення зносостійкості зразків з покриттями можна пояснити наявністю в них карбідів та інтерметалідів.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Досліджено вплив ЕІЛ сталі Ст3кп Co, Nb та Ti анодами – окремо та в пошаровому нанесенні на мікроструктуру, мікротвердість, фазовий склад та зносостійкість поверхневого шару.

2. Встановлено, що найвищу мікротвердість має легований шар після ЕІЛ титаном – 15,7 ГПа, що зумовлено більшою карбідоутворюючою здатністю титану і формуванням в поверхневому шарі більшої кількості карбідних включень. ЕІЛ кобальтовим анодом призводить до збільшення мікротвердості до 9,1 ГПа, а при ЕІЛ ніобієвим анодом значення мікротвердості зростає до 7 ГПа.

3. Визначено, що пошарове ЕІЛ в послідовності Co(3 хв) – Nb(3 хв) – Ti(3 хв)– Co(3 хв) призводить до підвищення мікротвердості до 10 ГПа. При послідовності Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Co(5 хв) мікротвердість підвищується до 7,6 ГПа.

4. Виявлено збільшення товщини легovanого шару до 35 мкм після ЕІЛ по схемі Co(3 хв) – Nb(3 хв) – Ti(3 хв) – Co(3 хв), може бути пов'язано з тим, що легування кобальтовим анодом заліза на першому етапі пошарового нанесення призводить до виникнення необмеженого твердого розчину заліза в кобальті. Формування твердого розчину заліза в кобальті може також відбуватись на останній стадії легування кобальтом.

5. Зносостійкість зразка з електроіскровим покриттям, утвореним за схемою Co – Nb – Ti - Co, у 1,85 рази перевищує значення сталі без обробки. Зносостійкість Nb-Ti-Co покриття у 1,57 рази більша за нелеговану основу. Підвищення зносостійкості зразків з покриттями можна пояснити наявністю в них карбідів та інтерметалідів.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Актуальність

Впродовж останніх десятиліть така форма ведення підприємницької діяльності з підвищеним ризиком, як стартап набула чималої популярності, безсумнівні переваги такі, як низький економічний поріг входу на ринок компанії для ведення своєї діяльності у зв'язку з появою нових методів комунікації з кінцевим клієнтом та безпосередньо з фінансовими структурами (венчурними фондами, інвесторами), які можуть бути зацікавлені в продукті компанії.

В сучасній інноваційній економіці форма стартапу можна вважати невід'ємною складовою розвитку та просування нових ідей, завдяки надзвичайній мобільності та гнучкості засновників та команди, яка рухає ідею та великій кількості підприємств такого формату, загальна маса інноваційної складової в економіці зростає.

Метою розділу є розроблення інноваційного мислення, розробка форми діяльності, стратегії роботи та загалом розвитку підприємницького духу та мислення, отримання теоретичних знань та формування вмінь оцінки ринкових перспектив продукту та можливостей подальшої комерціалізації технічних розробок, які були розроблені впродовж експериментальної роботи над магістерською дисертацією. Основним завданням в цьому розділі є формування концепції проекту та адаптація стартапу в умовах конкурентного середовища глобального ринку.

4.2 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Рушійною ідеєю експериментально-дослідної роботи була ідея створення зносостійкого покриття, за основу якого було взято Сталь СтЗкп, за допомогою електроіскрового легування такими матеріалами: Co, Nb та Ti. Така комбінація була вибрана з метою створення покриття, яке окрім підвищеної мікротвердості буде

характеризуватись підвищеною високотемпературною корозійною стійкістю, зносостійкістю та буде працювати в агресивних умовах експлуатації.

Провести повну оцінку ринкової спроможності нажалі в даних умовах дуже важко, оскільки, сама технологія ЕІЛ не є в повній мірі вивченою та знаходиться в активному, в таб. 4.1 описана ідея стартап проекту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигода для користувача
Створення покриття за допомогою ЕІЛ сталі СтЗкп анадом Со, Nb та Ті з різною послідовністю, для досягнення якісної зміни характеристик поверхні зразка Сталі СтЗкп	Машинобудування	Створення деталей з покриттям зі зносостіким, жаростійким покриттям яке працює в агресивних умовах
	Судно та авіабудування	Довгий період експлуатації поверхні за рахунок високотемпературної корозійної стійкості

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту наведеного в таб. 4.2. Проведення порівняння з кінцевим продуктом, до прикладу приведено високоточний елемент, який використовується в верстатобудування та працює в агресивних умовах.

Так званий SWOT-аналіз використовується як ефективний інструмент аналізу поточного впливу на навколишнє середовище на підприємстві. Його назва походить від початкових літер сильних англійських слів; слабкість; можливості; загрози Такий аналіз слід проводити для виявлення та усунення вразливих ситуацій, підвищення ефективності та уникнення потенційних загроз. Його зміст

полягає в тому, що лідер записує дані, корисні для стратегічного планування, у чотири клітини - сильні, слабкі сторони, небезпеки та можливості.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту відносно деталі «Шпindelь»

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепція конкурентів		
		Мій проект	Конкурент1 (Teknomotor)	Конкурент2 (Elte)
Шпindelь				
1	Витратні матеріали для створення покриття	Мікротвердість	Дорогі (W)	Дорогі (W)
2	Екологічність	Висока (S)	Середня (N)	Низька (W)
3	Мікротвердість	S	W	W
Примітка: W - слабка сторона, N - нейтральна сторона, S - сильна сторона.				

З таб. 4.3 можна зробити висновок, що ідею проекту можна реалізувати на виробництві маючи необхідне обладнання.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Покращення фізико-механічних властивостей поверхні сталі СтЗкп після ЕІЛ	ЕІЛ сталі СтЗкп анодами Al, C, Zr	Технологія наявна, можлива доробка	Доступна

В таб. 4.4 видно, що даний проект має низьку собівартість та при дотриманні стандартів та необхідних умов експлуатації, даний метод виробництва є екологічним і по параметру екологічності є конкурентноспроможним.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Сплав з необхідними властивостями поверхневого шару	Teknomotor, Elte, Allbest, Weining Group	Забезпечення необхідних властивостей: покращення корозійної стійкості та підвищення мікротвердості	Характеристики, довговічність, надійність, собівартість
2	Підвищення експлуатаційного строку деталі			

У таблиці 4.5 викладено сильні та слабкі сторони цього стартап-проекту. На сучасному ринку компанії, коріння в ньому та щойно входження на ринок, стають все складнішими. Їх проблеми пов'язані з високим рівнем жорсткої конкуренції, надлишком подібних товарів і послуг, надмірним насиченням рекламних та інформаційних потоків, зростанням споживчого попиту на якість продукції, постійними змінами кон'юнктури ринку та здібностями ринку, а також новаціями, які хочуть завойовувати все більше і більше акцій.

Тому для успішного виживання та функціонування компанії, підвищення якості та конкурентоспроможності її продукції ви повинні мати можливість передбачити труднощі, які можуть виникнути у майбутньому, та нові можливості, які можуть відкрити їй. Це означає, що компанії повинні визначати пріоритетні напрями розвитку, розробляти бізнес-плани, адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, використовувати нові технології для організації процесів управління, змінювати стратегії дій і, таким чином, - здійснювати стратегічне управління. Одним з основних інструментів стратегічного управління,

який оцінює внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на розвиток компанії, є SWOT-аналіз.

Таблиця 4.5 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"> • Збільшений строк експлуатації деталі (шпindelь); • Збільшені економічність та екологічність . • Відсутність високої конкуренції. • Великий ринок можливостей та бази для експериментальної роботи. 	<ul style="list-style-type: none"> • Створення прототипу пристрою для обробки деталей у промисловому масштабі. • Довгий строк вводу в експлуатацію, такого виду оброблення • Нестабільність політично-економічної ситуації, що негативно впливає на обсяг коштів для інвестиції.

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського в лабораторії електроіскрового легування. Планова собівартість визначається за наступними видатковими статтями [24]:

- 1) витрати на основні матеріали;
- 2) витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;
- 3) витрати на заробітну платню персоналу;
- 4) відрахування в соцстрах;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) витрати на послуги сторонніх організацій;
- 7) інші невраховані прямі витрати по темі;
- 8) накладні витрати.

4.3.1 Витрати на основні матеріали

Визначення витрат на матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про основні матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
1. Чистий Со	кг	0,1	447	44,7
2. Чистий Nb	кг	0,1	150	15
3. Чистий Ti	кг	0,1	140	14
4. Сталь СтЗкп	кг	0,1	140	14
5. Шліфувальний папір	шт	10	10	100
6. Спирт Етиловий 96%	літр	0,1	200	20
7. Азотна кислота	літр	0,03	17	0,51
В цілому				208,21

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 10 % від ринкової вартості:
 $208,21 \cdot 0,1 = 20,82$ грн.

Повна сума витрат на матеріали: $208,21 + 20,82 = 229,03$ грн.

4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на вже наявному обладнанні. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносяться до накладних витрат.

4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Розрахунок витрат основної заробітної платні ведеться на основі даних по

трудомісткості виконання окремих етапів дослідження та денної заробітної платні виконавців (табл. 4.7) [25].

Таблиця 4.7 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Відповідальний виконавець теми, провідний науковий співробітник	10650	484,10
Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Інженер-дослідник	5750	261,36
Механік	4200	190,91

Тривалість різних етапів виконання дослідження наведена в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідницької роботи

Етапи дослідження	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми	Інженер-дослідник	Лаборант
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	1	2	-
2. Вивчення літератури	-	14	-
3. Розробка методики проведення робіт	5	10	5
4. Підготування зразків	-	-	8
5. Підготовка обладнання	-	2	5
6. Проведення експериментів	-	12	10
7. Обробка експериментальних результатів	-	25	6
8. Обговорення результатів	4	5	5
9. Оформлення результатів	2	12	6
Разом	12	82	45

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні: $\text{ПФЗ} + \text{ДФЗП} = 35831,67 + 10749,51 = 46581,17$ грн.

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трудомісткості на денну заробітну платню виконавця: $\text{ПФЗП} = 12 \cdot 484,10 + 82 \times 261,36 + 45 \cdot 190,91 = 35831,67$ грн.

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30 % від прямого фонду: $\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 10749,51$ грн.

4.3.4 Відрахування на соціальні заходи

На сьогоднішній день відрахування на соціальні заходи у відсотках від суми прямого та додаткового фондів заробітної плати, тобто від повного фонду заробітної плати, складають 22 %.

Таким чином, відрахування на соціальні заходи складуть: $V_c = (\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП}) \cdot 0,22 = 46581,17 \cdot 0,22 = 10247,86$ грн.

4.3.5 Витрати на службові відрядження

Згідно з планом даного дослідження службові відрядження не передбачаються.

4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій

Згідно з планом даного дослідження послуги сторонніх організацій не передбачаються.

4.3.7 Інші прямі невраховані витрати

Витрати по цій статті визначаються у розмірі 10 % від суми всіх врахованих планових прямих витрат по темі:

$$P_n = (46581,17 + 10247,86 + 229,03) \cdot 0,1 = 5705,81 \text{ грн.}$$

4.3.8 Накладні витрати

До накладних витрат відносять:

- адміністративну заробітну плату - управлінського персоналу, господарського та обслуговуючого персоналу з нарахуванням органам страхування;
- витрати на придбання експериментального обладнання та приладів;
- витрати по охороні праці та на техніку безпеки;
- амортизація приладів, устаткування та установок;
- витрати на воєнізовану охорону;
- інші загальногосподарські та дослідницькі витрати, тощо.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20 % від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи:
 $H_B = 35831,67 \cdot 0,20 = 7166,34$ грн.

4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання дослідження. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Планова кошторисна вартість дослідження

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	46581,17	66,61 %	За розрахунком
Відрахування на соціальні заходи	V_c	10247,86	14,65 %	22 % від ЗП
Витрати на матеріали	C_m	229,03	0,33 %	За розрахунком
Витрати на обладнання	$C_{0б}$	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	C_B	-	-	Не планується

Продовження таблиці 4.9

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума	% до загального	Примітки
Роботи та послуги сторонніх організацій	С _i	-	-	Не планується
Інші невраховані прямі витрати по темі	П _н	5705,81	8,16 %	10 % від врахованих прямих витрат
Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума	Примітки	
		грн.	% до загального	
Накладні витрати	Н _в	7166,34	10,25 %	20 % від основної заробітної плати
Разом	З	69930,21	100 %	-

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.10 необхідно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Для розроблення маркетингової стратегії необхідно описати три рівні моделі послуги. Послуга передбачає зміцнення окремих вимірювальних та ріжучих інструментів.

Таблиця 4.10 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Зміцнення окремих частин вимірювальних та ріжучих інструментів	Дешевизна, простота, швидкість	Зменшення затрат на підприємницьку діяльність, швидкість виконання робіт

Отримані характеристики: товщина легованого шару від 10 мкм до 25 мкм,

висока мікротвердість, збільшена зносостійкість.

До переваг серед конкурентів варто віднести дешевизну послуги, оскільки передбачається, що вона буде коштувати приблизно у (4 – 10) разів менше, порівняно з послугами-замінниками та послугами-аналогами.

Методика нанесення є унікальною, тому для збереження її від копіювання конкурентами, можна її запатентувати.

4.5 Формування системи збуту

Важливим кроком у проектуванні стартап-проекту є визначення оптимальної системи збуту. У даному випадку варто звернутися як і до власного збуту (без посередників), так і до залученої системи збуту (з посередниками). Також при певних умовах підприємство може звернутися до таких збутових операцій, як кліринг (система безготівкових розрахунків за товари, цінні папери та послуги, що побудована на урахуванні взаємних зобов'язань та вимог) та бартер.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

4.6 Висновки до розділу 4

Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Створення зносостійких покриттів на сталі СтЗкп, методом ЕІЛ анодами Со, Nb, Ti», засвідчив, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі СтЗ є дуже перспективним.

Ринкова перспектива для реалізації даного проекту присутня і проявляється в безумовних перевагах використання цієї технології, відсутності високої

конкуренції та зацікавленістю цією технологією оскільки метод електроіскрового лігування активно досліджується та поступово використовується в промисловості.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою цього розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть призвести до травмування в процесі формування зносостійких покриттів на сталі СтЗкп ЕІЛ анодами Со, Nb та Ti, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів.

У даному розділі розглянуто засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на «Елитрон-26А».

Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- електричний струм;
- випромінювання від та комп'ютера.

5.1 Аналіз роботи в приміщенні

Науково-дослідницька робота виконувалась на кафедрі фізики металів інженерно-фізичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського в корпусі № 9, на цокольному поверсі в кімнаті № 036. Схема кімнати представлена на рис. 5.1.

Приміщення, в якому виконувалася НДР, має наступні установки:

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

Було проведено вимірювання приміщення аудиторії та вікон, які наведені

нижче:

- розміри аудиторії: ширина – 6 м, довжина – 7 м, висота – 3,8 м.
- розміри вікон: ширина – 2,7 м, висота – 2,5 м.

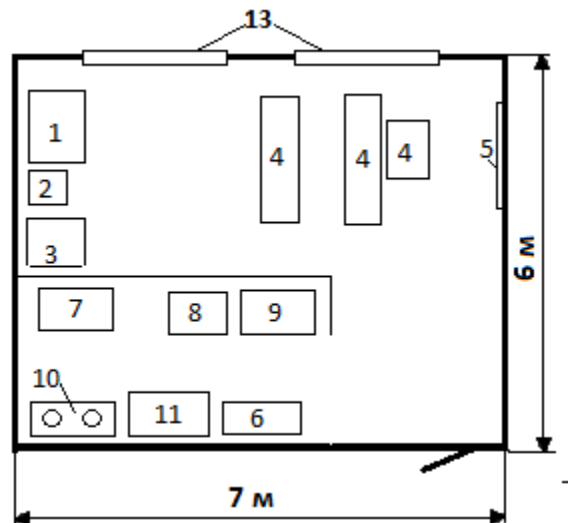


Рисунок 5.1 – Схема аудиторії в якій виконувалася науково-дослідницька робота

Аудиторія, в якій працює сім чоловік має площу 42 м^2 , об'єм $156,9 \text{ м}^3$. Площа, яка приходить на одну людину – 6 м^2 , об'єм $\sim 42 \text{ м}^3$. Таким чином площа та об'єм аудиторії, згідно з ДБН В.2.2-28-2010, де на одну людину повинно приходитись не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, відповідають нормам [26].

Чисте повітря необхідного хімічного складу та оптимальна температура, вологість і швидкість руху мають велике значення для нормальної працездатності людини, тому науково-дослідна робота супроводжувалася вивченням мікроклімату в лабораторії. При дослідженні мікроклімату виявляються такі компоненти: температура, рухливість повітря робочої зони та порівняння результатів із встановленими стандартами [26]. Також розрізняють категорії робіт за складністю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ.

Згідно з [27] категорія важкості робіт – I б. Вона містить легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні кімнати 036 наведені у таблиці 5.1.

В приміщенні науково-дослідницької лабораторії використовується водяне опалення та природна вентиляція.

Таблиця 5.1 – Величина параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 036

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима
Холодний	20	17...25	70	<75	0,1	<0,2
Теплий	23	19...30	55	<60, при 27 °С	0,2	0,1...0,3

Можна зробити висновок, що мікроклімат в кімнаті 504 відповідає вимогам санітарних норм.

5.1.1 Склад повітря робочої зони

Лабораторна чистота повітря визначається вмістом шкідливих речовин і пилу. Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, що використовуються при проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 встановлюються гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничих приміщень [28].

Надходження у повітря робочої зони певної шкідливої речовини залежить від технологічного процесу та від сировини яка використовується.

У цій лабораторії матеріали, що застосовуються в твердому стані, не проводяться процеси полірування, шліфування та травлення, а також щоденного вологого прибирання приміщень. З вищесказаного можна сказати, що шкідливі речовини та запиленість приміщень не перевищують допустимих значень.

5.2 Аналіз шуму та вібрації

Шум – це механічні коливання частинок пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), що виникають під впливом будь-якої зовнішньої сили [29]. Дослідницька робота виконувалась на установці Елітрон-26, яка видає деякий шум і вібрацію під час роботи.

Шум навіть при відносно низьких рівнях звуку (50 - 60) дБА збільшує навантаження на нервову систему людини, що дуже помітно при заняттях розумовою діяльністю. Це збуджує нервову систему, підвищує артеріальний тиск, призводить до передчасної втоми, викликає головний біль. Доведено, що багато захворювань (гіпертонія та виразкова хвороба, неврози, шлунково-кишкові та шкірні захворювання) пов'язані із перенапруженням нервової системи під час роботи та відпочинку. Так, вплив шуму 90 дБА і вище призводить до зниження чутливості слухових органів, а іноді, в особливо поганих умовах на промислових підприємствах, до виникнення професійного захворювання - сенсоневральної втрати слуху. Рівень шуму дуже високого рівня (більше 145 дБА) може пошкодити вушну раковину [29].

Граничні значення шуму на робочому місці регулюються ДСН 3.3.6.037-99. Він встановлює параметри шуму на основі класифікації приміщень за їх використанням для різних видів трудової діяльності [30].

У цьому випадку присутній імпульсний шум, оскільки роботи на установках, що генерують шум, проводилися рідко, тому для захисту від шуму використовувались вкладені в слухові апарати вкладки від шуму.

5.3 Інженерні рішення

5.3.1 Освітлення

Правильно підібране освітлення забезпечує нормальні умови для організації робочого процесу. Існує три види освітлення: природне, штучне та комбіноване. Природний, у свою чергу, поділяється на бічний, верхній та комбінований. Штучний – загальний і локальний [31].

Погане освітлення у виробничій зоні може призвести до низької якості роботи, наприклад, зламаних розривів, стирань, витоку палива та масел, механічних домішок у паливі тощо, що у свою чергу, призводить до зниження безпеки. Погане освітлення на виробничих площах може спричинити багато серйозних та смертельних випадків, таких як напад самохідних рухомих машин.

Коли освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і підібране, очі працівника тривалий час зберігають здатність добре розрізняти предмети та інструменти. Такі умови освітлення допомагають зменшити виробничі травми та професійні захворювання очей.

До переваг природного освітлення можна віднести те, що воно сприятливо впливає на органи зору та покращує розвиток організму в цілому. До недоліків можна віднести – постійне освітлення в різні періоди дня та року; нерівний фон, контрастний об'єкт розрізнення з фоном.

У приміщенні є природне бічне освітлення, вікна з південної сторони. Відстань до місця основної роботи - 1,5 м. Лабораторне освітлення буває природним і штучним. Для локального освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального - люмінесцентні ЛБ-40 (20 приміщень у приміщенні). Освітленість приміщення відповідає рівню 200 лк згідно з ДБН В.2.5.28-2006 [32].

5.3.2 Аналіз штучного освітлення

У штучному освітленні нормативне значення – це абсолютне значення освітленості, яке залежить від характеристик візуальної роботи та освітлювальної

системи (загальної, комбінованої). Розрахунок освітлювальної системи можна проводити різними способами, виходячи з двох основних методів розрахунку: світлового потоку і точки. Найпоширенішим у проектній практиці є розрахунок методу утилізації потоку світла. Цей метод використовується для розрахунку загальної рівномірної освітленості і дозволяє визначити світловий потік джерел світла, необхідний для створення нормалізованої освітленості обчисленої горизонтальної площини. Цей метод враховує прямий і відбитий (від стелі, стін і підлоги) світловий потік [31].

В даній роботі використаємо метод світлового потоку. Основне розрахункове рівняння має вигляд [31]:

$$F = \frac{E \times S \times K \times Z}{N \times n \times \eta} \quad (5.1)$$

де F – світловий потік джерела світла, лм;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i вираховується за формулою:

$$i = \frac{a \times b}{h \times (a + b)} = \frac{6 \times 6}{2,4 \times (6 + 6)} = 1,25 \quad (5.2)$$

де a і b – ширина і довжина приміщення, м;

h – висота світильника над робочою поверхнею, м

Користуючись даними з таблиці 13 за умовою, що: $\rho_{\text{стелі}} = 80\%$, $\rho_{\text{стіни}} = 50\%$, знаходимо: $\eta = 48\%$, або 0,48. З рівняння (5.3) заходимо E [22]:

$$E = \frac{F \times N \times n \times \eta}{h \times S \times Z} = \frac{3200 \times 10 \times 2 \times 0,48}{1,5 \times 36 \times 1,1} = 517 \text{лк}, \quad (5.3)$$

де F для ламп ЛБ = 3200 лм;

K = для ламп ЛБ становить 1,5.

$Z = 1,1$ для люмінесцентних ламп;

$N = 10$ шт.;

$n = 2$ шт.;

$\eta = 0,48$; $S = 36 \text{ м}^2$

Згідно ДБН В.2.5–28–2006 норма освітлення становить 200 лк. Отримане значення E перевищує норму тобто, штучне освітлення є достатнім [35].

5.3.3 Електробезпека

Аудиторія № 036, де проводили науково-дослідну роботу, передається до приміщень без високого ризику, повідомляє джерело [33]. Електричні прилади живляться від напруги живлення 220 В змінного струму (комп'ютери та прилади) потужністю змінного струму 50 Гц.

Причинами ураження електричним струмом є:

- пошкодження ізоляції і, як наслідок, доступність живих частин обладнання;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах внаслідок неправильного пуску установки;
- недотримання або неправильне виконання вимог електробезпеки, неуважність на роботі.

Причинами ураження електричним струмом під час роботи з електрообладнанням є:

- 1) випадковий контакт зі струмопровідними деталями через відсутність засобів недоступності або безвідповідального ставлення до безпеки персоналу;

2) контакт з непровідними частинами електричних приладів, випадково підведених електричним струмом через пошкодження ізоляції або інші пошкодження;

3) потрапляння під напругу під час ремонтних робіт на відключених електроприладах через неправильне їх включення.

Максимально допустимий струм через людину в нормальному (неаварійному) режимі електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для змінного струму та 1 мА для постійного струму [33].

На ступінь пошкодження струму впливають такі фактори [33]:

- вплив стану шкірного шару (порізи, подряпини, зволоження, підвищена пітливість, забруднення шкірного шару може призвести до значного зниження загальної стійкості організму людини до електричного струму);

- вплив параметрів електричного струму (постійного чи змінного струму, величини електричного струму). Небезпека для людського організму тим менша, чим коротша тривалість струму. При тривалому впливі струму опір людського організму падає і струм збільшується до величини, яка може викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця. Підвищена вологість повітря, пил, що переносить струм, та реактивні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, полегшують перехід напруги до неносіючих частин установки, коротких замикань і тим самим збільшують ризик ураження електричним струмом [33].

Потік електричного струму через організм людини – це складний процес, який супроводжується значним спектром фізико-біологічних та хімічних реакцій, основними з яких є теплові, електролітичні, механічні та біологічні. Теплова реакція тканин людського організму виникає в результаті перетворення електричної енергії в теплову енергію. Електролітична дія електричного струму на живі тканини – це розкладання внутрішньоклітинної органічної рідини на іони.

Механічна реакція організму людини на потік електричного струму проявляється у вигляді електродинамічного ефекту, який полягає, наприклад, у

різкому скороченні м'язових тканин. Біологічна реакція людського організму на електричний струм формується в результаті його дії на внутрішні біоелектричні процеси, при подразненні живих тканин [33].

У навчальному кабінеті правильно виконується захисне заземлення корпусів, електрообладнання та приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного контакту з шафами, електрообладнанням та приладами, за даними джерела [33].

5.3.4 Вентиляція приміщення лабораторії

Примусова вентиляція, яка викликається механічною вентиляцією, передбачає наявність певних пристроїв для транспортування повітряного потоку в її системі. Ці пристрої називаються вентиляторами, вибір яких є кінцевою метою, яка передбачає розрахунок примусової вентиляції, тобто розрахунок вентиляції з механічною стимуляцією.[33]

Температура в приміщенні повинна бути 23 °С, відносна вологість повітря 60 %.

Обсяг повітрообміну (витяжна вентиляція), необхідний для видалення надлишкового тепла з приміщення, розраховується за формулою:

$$L_Q = \frac{Q_{\text{надл}}}{C_p r (t_{\text{вид.}} - t_{\text{прит.}})} \quad (5.4)$$

де $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове тепло, кДж/год;

C_p – теплоємність сухого повітря, $C_p = 1,005$ кДж/год;

r – щільність повітря, що надходить, $r = 1,293$ кг/м³ при 273К;

$t_{\text{вид.}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, °С;

$t_{\text{прит.}}$ = температура приточного повітря.

Температура повітря, що видаляється з приміщення визначається з виразу:

$$t_{\text{вид.}} = t_{\text{р.з}} + \Delta t (H - 2) \quad (5.5)$$

де $t_{p,z}$ – температура повітря в робочій зоні, $t_{p,z}=25$;

Δt – температурний градієнт по висоті приміщення, $\Delta t = 0,5$ °C/м;

H – відстань від полу приміщення до центру витяжного зонта, $H = 2,5$ м;

Таким чином, температура повітря, що видаляється з приміщення складає:

$$t_{\text{вид.}}=29+0,5\times(2,5-2)=29,25 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Надлишкове тепло розраховується за формулою:

$$Q_{\text{надл}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.6)$$

де Q_1 - тепловиділення від штучного освітлення, кДж/год;

Q_2 – тепловиділення людей, кДж/год;

Q_3 – надходження тепла через світлові прорізи, кДж/год.

$$Q_1 = 3600 \times N_{\text{осв}} \times n \quad (5.7)$$

де $N_{\text{осв}}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт;

n – коефіцієнт теплових втрат, $n=0,2$ для люмінесцентних ламп.

У приміщенні наявно 5 світильників з двома лампами ЛД30 (30 Вт) і 3 місцевих світильника з люмінесцентними лампами потужністю по 7 Вт.

Тоді за формулою отримуємо:

$$Q_1=(5\times 0,03+3\times 0,007)\times 0,2\times 3600=123,12 \text{ кДж/год.}$$

Тепловиділення людей розраховується як:

$$Q_2 = 3600 \times q_i \times n \quad (5.8)$$

де q_i – тепло, яке виділяється людьми (чоловіками), в залежності від витрат енергії і температури в приміщенні, кВт;

n – кількість людей, які одночасно знаходяться в приміщенні.

Для розумової праці явні тепловиділення одної людини складають близько 55 Вт при 20 °C.

Розрахуємо Q_2 за формулою:

$$Q_2 = (0,055 \times 3) \times 3600 = 594 \text{ кДж/год.}$$

Розрахуємо надходження тепла через світлові прорізи:

$$Q_3 = 3600 \times F_{\text{ст}} \times q_{\text{ст}} \times A_{\text{ст}} \quad (5.9)$$

де $F_{\text{ст}}$ – площа поверхні застелення, м^2 ;

$q_{\text{ст}}$ – виділення тепла від сонячної радіації, $\text{кВт}/\text{м}^2$; через 1 м^2 поверхні стекла (з урахуванням орієнтації за стороною світла), $q_{\text{ст}} = 90 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

$A_{\text{ст}}$ – коефіцієнт врахування характеру застелення, $A_{\text{ст}} = 0,6$.

В приміщенні наявні 2 вікна розміром $2 \times 1,8 \text{ м}$. Тоді маємо:

$$F_{\text{ст}} = 2 \times 2 \times 1,8 = 7,2 \text{ м}^2$$

З урахуванням усіх величин теплопостачання тепла через світлові отвори складають:

$$Q_3 = 3600 \times 7,2 \times 0,6 \times 0,09 = 1399,68 \text{ кДж/год.}$$

Таким чином, надлишкове тепло в приміщенні складає:

$$Q_{\text{надл}} = 123,12 + 594 + 1399,68 = 2116,8 \text{ кДж/год.}$$

Повітрообмін необхідний для видалення надлишкового тепла за формулою, маємо:

$$L_Q = \frac{2116,8}{1,005 \times 1,293 \times (29,95 - 23)} = 260,63 \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.10)$$

Отже, для видалення надлишку тепла в лабораторії потрібно встановлення витяжної вентиляції продуктивністю $260,63 \text{ м}^3/\text{год}$.

Встановлена витяжна вентиляція марки С4.65-3.0, складається з витяжного отвору, через який повітря видаляється з приміщення (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Витяжна вентиляція марки С4.65-3.0

При роботі витяжної системи чисте повітря потрапляє в приміщення через несутцільності в огорожуючих конструкціях. Ця обставина є суттєвим недоліком, так як неорганізований приток холодного повітря (протяги) можуть викликати простудні захворювання.[33]

Отже, в холодний період року необхідна додаткова подача тепла (рис.5.3).

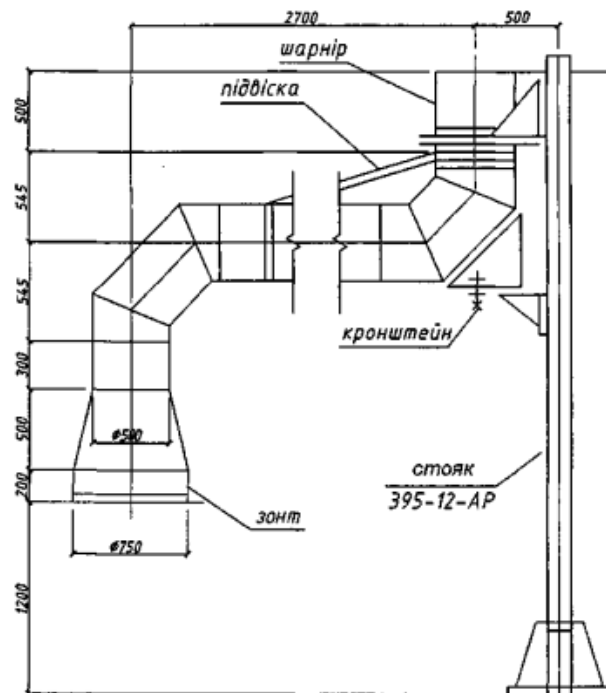


Рисунок 5.3 – Конструкція витяжної вентиляції марки С4.65-3.0

5.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Надзвичайна ситуація – ситуація на окремій території чи суб'єкт господарювання на ній чи водоймі, що характеризується порушенням нормальних умов життя, спричинених катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотикою, епіфітофобією, подія, яка (могла) призвести до виникнення загроза життю чи здоров'ю населення, велика кількість загиблих та поранених, заподіяння значних матеріальних втрат та неможливість прожити І населення на цій території чи в установі провадження у її справі.

Запобігання надзвичайним ситуаціям – сукупність правових, соціально-економічних, політичних, організаційних, технічних, санітарних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки ризиків, раннє реагування на загрозу надзвичайної ситуації, засновані на моніторингу даних експертизи, дослідження та прогнози можливого перебігу подій для запобігання або зменшення надзвичайних ситуацій. можливі наслідки [33].

Під час виконання науково-дослідної роботи можуть виникнути такі надзвичайні ситуації: пожежа, землетрус, вибух, поломка енергосистеми, обвал будівлі.

5.4.1 Пожежна безпека

Об'єкт пожежної безпеки - це стан об'єкта, який з регульованою ймовірністю виключає виникнення та розвиток пожежі та вплив на людей її небезпечних факторів, а також забезпечує захист матеріальних цінностей.

Основними напрямками пожежної безпеки є ліквідація умов пожежі та мінімізація її наслідків [33].

Проаналізуємо ймовірність виникнення пожежі в приміщенні та засобів його попередження.

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36: 2016, приміщення 036-9 за пожежонебезпекою

належить до категорії "В" (в лабораторії є легкозаймисті та легкозаймисті рідини, також тверді легкозаймисті та горючі речовини). Приміщення, в яких вони знаходяться, не належать до категорії А або В). [34]

Найнебезпечніше місце в приміщенні – це місце, де знаходиться комп'ютерна техніка, місце, де прокладається електропроводка. Запалювання може статися через коротке замикання в електропроводці [33]. Кімната з водою із загальної мережі водопостачання, порошкові вогнегасники, обладнані для гасіння пожежі. План евакуації у разі пожежі показаний на рис. 5.4.

Вогнегасники ОУВ-2 (двоокис вуглецю-брометил) доступні в лабораторії. Умови експлуатації задовольняють обмеження щодо використання вогнегасників цих типів (напруга електроприладів не більше 1000 В). Пожежна сигналізація та сигналізація – це автоматичні пожежні сигнали типу ДТП, які реагують на підвищення температури. У разі виникнення живого електричного вогню полум'я, яке утворюється, не гасне водою, але використовує вогнегасник гасіння діоксиду вуглецю або вуглекислого газу [33].

Основними заходами пожежної безпеки є регулярна перевірка ефективності вогнегасників та пожежної сигналізації; перевірка електропроводки; щорічне випробування на опір ізоляції високою напругою близько 500 В; обережність з легкоплавкими речовинами [33].

Внутрішнє службове спілкування – це засіб сповіщення працівників про пожежу. У разі пожежі існує план евакуації будівельників (рис. 5.4).

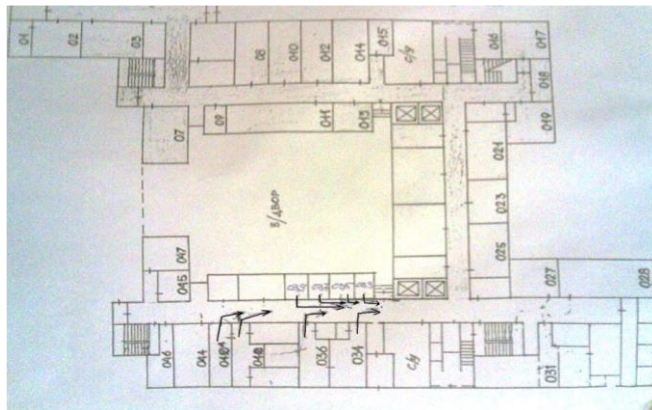


Рисунок 5.4 – План евакуації

Для запобігання займання одягу та його пошкодження потрібно використовувати спеціальний одяг що не піддається горінню (рис. 5.5)



Рисунок 5.5 – Спеціальний одяг STEELUZ

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі поломки напруги на корпусі зварювального агрегату необхідно вимкнути вимикач та повідомити про це майстра або начальника станції.

У разі, якщо хтось під напругою, необхідно від'єднати зварювальний агрегат від електромережі, покласти потерпілого на дерев'яну колоду,

покладіть під голову бавовняну куртку, зателефонуйте до лікаря за телефоном 103 і при необхідності зробіть штучне дихання.

У разі займання зварювального агрегату необхідно вимкнути вимикач і почати гасити пожежу за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник та службовець, які виявили пожежу чи пожежу, повинні:

- негайно повідомити пожежну службу заводу по телефону 101;
- розпочати гасіння пожежі за допомогою засобів пожежогасіння, наявних у магазині (на майданчику) (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати чиновників до місця пожежі. У разі травми повідомте про це головного інженера або завідувача лабораторії та зверніться до медичного центру.

5.5 Висновки до розділу 5

1. У даній роботі дослідження, які проводяться згідно з планом не є джерелом забруднення навколишнього середовища.
2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів передбачає умови, за яких може виникнути небезпека ураження організму.
3. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі СтЗкп з мікротвердістю 7 ГПа – 15 ГПа при електроіскровому легуванні анодами Co, Ti, Nb.

2. Виявлений вплив послідовності нанесення Co, Ti та Nb при ЕІЛ на фазовий склад, мікроструктуру, мікротвердість та зносостійкість легованих шарів сталі СтЗкп. Максимальні значення мікротвердості – 10 ГПа має поверхневий шар після ЕІЛ в послідовності Co-Nb-Ti-Co, що зумовлено формуванням частинок карбіда титану TiC та інтерметаліду Co₂Ti.

3. Встановлено, що найбільшу товщину – 35 мкм, має легований шар отриманий при ЕІЛ в послідовності Co-Nb-Ti-Co, що зумовлено утворенням необмеженого твердого розчину заліза в кобальті.

4. Показано, що ЕІЛ сталі СтЗкп в послідовності Co – Nb – Ti – Co збільшує зносостійкість поверхневого шару в 1,85 раза, перевищує значення зносостійкості сталі СтЗкп.

5. Виявлено, що ринкові спроможності стартап-проекту «Створення зносостійких покриттів на сталі СтЗкп методом ЕІЛ анодами Co, Nb, Ti» є широкими, застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі СтЗкп є дуже перспективним. Перспективи в реалізації даного проекту присутні і проявляються в безумовних перевагах використання цієї технології.

6. Встановлено, що умови організації робочого місця, вимог до мікроклімату та освітлення робочої зони відповідають державним стандартам та нормам. Аналіз шкідливи та небезпечних факторів, встановив, що електроіскрове легування є цілком безпечним методом оброблення при виконанні необхідних норм.

CONCLUSIONS

1. The possibility of forming hardened coatings on steel St3cp with microhardness of 7 GPa - 15 GPa with electrospark doping with Co, Ti, Nb anodes has been established.

2. The influence of the Co, Ti, and Nb deposition sequence on ESA on the phase composition, microstructure, microhardness, and wear resistance of alloyed layers of St3cp steel was revealed. The maximum values of microhardness - 10 GPa has a surface layer after ESA in the sequence Co-Nb-Ti-Co, which is caused by the formation of particles of titanium carbide TiC and intermetallide Co₂Ti.

3. It is found that the maximum thickness is 35 μm, having a doped layer obtained by ESA in the sequence Co-Nb-Ti-Co, which is caused by the formation of an unlimited solid solution of iron in cobalt.

4. It is shown that the ESA of St3cp steel in the Co - Nb - Ti - Co sequence increases the resistance of the surface layer by 1.85 times, exceeds the value of the wear resistance of the St3cp steel.

5. It has been found that the market potential of the startup project "Creation of wear-resistant coatings on St3cp steel by the ESA method with Co, Nb, Ti anodes" is wide, the use of this technology for processing any parts made of C3cp steel is very promising. Prospects for the implementation of this project are present and manifest in the absolute benefits of using this technology..

6. It is established that conditions of workplace organization, requirements for microclimate and illumination of work area are in compliance with state standards and norms. The analysis of harmful and dangerous factors has established that electrospark alloying is a completely safe method of processing in compliance with the necessary norms.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха. – К.: Техника, 1982. – 181 с.
2. Верхотуров А.Д. Электродные материалы на основе карбидов вольфрама и титана для электроискрового легирования стали / А.Д. Верхотуров, С.Н. Кириленко, В.Т. Бондарь // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – М.: НИИмаш, 1980. – №4. – С. 3 – 5.
3. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебное пособие: в 2 т. Т. I. Стали и чугуны / М. А. Филиппов, В. Р. Бараз, М. А. Гервасьев, М. М. Розенбаум. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург Издательство Урал. ун-та, 2013. – 232 с.
4. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева – М.: Наука, 1986. – 276 с. ___
5. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
6. Формированию структуры, свойств, а также закономерностям трения и износа поверхностей после ЭИЛ исследования/ Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко Б.Н. Золотых, Л. С. Палатника, Г.В. Самсонова, А.Д. Верхотурова// –Омск, СиБАДИ, 2009. – 255 с.
7. Ким В.А. Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изнашивания режущего инструмента./ В.А. Ким // Владивосток: Дальнаука, 2001. — 203 с.
8. Самсонов Г.В. Твёрдые соединения тугоплавких металлов. / Г.В. Самсонов, Я.С. Уманский // -М.: Metallurgizdat, 1957. 388 с.
9. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения. Справочник./ Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий //2-е изд. — М.: Metallurgiya, 1976.-558 с.

10. Михайлюк А.И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А.И. Михайлюк // Электронная обработка материалов. 2003. – №3. – С.21-23.
11. Хільчеський В.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / В.В. Хільчеський, С.Є. Кондратюк, В.О. Степаненко, К.Г. Лопатько // Навч. посібник –Либідь, 2002 — 328 с.
12. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
13. Лазаренко Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами Электроискровая обработка металлов / Н.И. Лазаренко – М. 1960. – С. 36–66.
14. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1965. – № 1. – С. 11–14. Горелик С. С.
15. Лубан Р.Б. О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер // ЭОМ. – 1991. – №8 – С.13 – 15.
16. Сидоренко С.І. Матеріалознавство і розробка електронної техніки / С.І. Сидоренко, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова // Науковий вісник КУЕІТУ. – 2013. – №3- 4(41-42). – С. 3-7.
17. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков – Металлургия, 1970. – 271 с.
18. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323 с.
19. Пячин С.А. О Зависимости изменения массы электродов от времени при электроискровом легировании / С.А. Пячин, Н.Е. Аблесимов, Д.Л. Ягодзинский // Электрические методы обработки поверхности. – 2003.– №1.– С.19 – 26.

20. Верхотуров А.Д. К вопросу о критерии эффективности процесса электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, Л.А. Коневцов, И.А. Астапов // ВестникАмГУ. – 2007. – Вып. 39. – С.6 – 9.
21. Михайлюк А.И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А.И. Михайлюк // Электронная обработка материалов. 2003. – №3. – С.21-23.
22. Grosso M.F. Modeling of high entropy alloys of refractory elements / M.F. Grosso, G.Bozzolo, H.O. Mosca // Physica B: Condensed Matter / 2012. – p. 3285–3287.
23. Іващенко Є.В. Вплив хромового аноду на формування поверхневих шарів сплавів Fe-Cr при електроіскровому легуванні / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, Л.Ф. Яценко, В.Ф. Мазанко // Вісник українського матеріалознавчого товариства. – 2010. – Вип. 3. – С. 16 – 22.
24. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 25.Трудове законодавство про персонал [Електронний ресурс] – http://pidruchniki.com/18340719/menedzhment/trudove_zakonodavstvo_pro_personal
- 26.Основи охорони праці: Підручник / [К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін.]. – Київ: Основа, 2006. – 448 с.
- 27.Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ Є.П.Желібо, Н.М.Заверуха, В.В.Зацарний – Київ: «Каравела». – 2001. – 320 с.
28. ГОСТ 12.1.005-88 – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

29. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
30. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
31. Електричне освітлення та опромінення [Текст] : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету енергетики та автоматики / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; уклад. Л. С. Червінський [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2014. - 59 с.
32. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення.
33. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников // Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
34. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
35. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення.
36. ПУЕ-86 – Правила улаштування електроустановок.
37. Кодекс цивільного захисту України, затверджений Верховною Радою України від 02.10.2012р. № 5403-V.
38. Закон України "Про охорону праці", затверджений Постановою Верховної Ради України від 21.11.2002 р. № 229-IV.
39. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. №3. – С.12 – 16.