

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
«__» _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Формування Cr-Ni та Ni-Cr електроіскрових покриттів на сталі 40X13
та їх властивості»

Виконав:

студент VI курсу, групи ФМ-71мп
Доронін Дмитро Валерійович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.,
Лобачова Г.Г. _____

Консультанти із експериментальної частини:

доцент, к.т.н.,
Іващенко Є.В. _____

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

професор, д.т.н.,
Левченко О.Г. _____

Консультант із розробки стартап-проекту:

доцент, к.е.н.,
Глущенко Я.І. _____

Консультант із питань нормо контролю:

асистент КФМ,
Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н.,
Бобіна М.М. _____

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

Студент _____

Київ – 2018 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

_____ С.В. Іващенко

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Дороніну Дмитру Валерійовичу

1. Тема дисертації «Формування Cr-Ni та Ni-Cr електроіскрових покриттів на сталі 40X13 та їх властивості», науковий керівник дисертації Лобачова Галина Геннадіївна, доцент КФМ, к.т.н., затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 р. № 4127-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі 40X13, отримані електроіскровим легуванням хромом та нікелем на повітрі.

4. Вихідні дані: Сталь 40X13, чисті метали Ni та Cr.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) провести процеси електроіскрового 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: 23 рисунка та презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Лобачова Г.Г. Формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі в процесі пошарового нанесення титану, алюмінію та заліза / Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, Д.В. Доронін(гр. ФМ-71мп) // Проблеми тертя та зношування. – № 4(77), – 2017. – С. 75 – 79.

2) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., Доронін Д.В. (гр. ФМ-71мп). Поверхневе зміцнення штампового та різального інструменту методом пошарового електроіскрового легування // Матеріали тез доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції

«Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво (МOM – 2017)», 01 – 03 листопада 2017 р., м. Чернігів, Україна. – С. 165.

3) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Доронін Д.В. (гр. ФМ-71мп)**. Формування електроіскрових покриттів пошаровим нанесенням титану, алюмінію, заліза на поверхню сталі 50 // Збірник тез доповідей VII Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 7». 30 листопада – 2 грудня 2017 р., м. Київ, Україна. – С. 99 – 101.

4) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Доронін Д.В. (гр. ФМ-71мп)**. Кінетика масоперенесення в процес і пошарового електроіскрового легування сталі 40X13 нікелем та хромом// Збірка тез доповідей XI Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 19 – 20 квітня 2018 р., Київ, Україна. – С. 53 – 55.

5) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Доронін Д.В.(гр. ФМ-71мп)**. Підвищення поверхневої твердості сталі 40X13 пошаровим формуванням Ni-Cr та Cr-Ni електроіскрових покриттів// Тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика», 15 – 17 травня 2018 р., м. Маріуполь, Україна. – С. 80 – 81.

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд джерел та написання літогляду		
2.	Підготовка зразків для електроіскрового легування (ЕІЛ)		
3.	Проведення ЕІЛ та гравіметрія		
4.	Рентгенівські дослідження зразків після ЕІЛ		
5.	Проведення випробувань на корозійну- та зносостійкість		
6.	Проведення дослідження на зносостійкість		
7.	Аналіз результатів та написання диплому		
8.	Захист		

Студент

Д.Д. Доронін

Науковий керівник дисертації

Г.Г. Лобачова

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 73 сторінки, 33 рисунка, 19 таблиць, 44 літературних джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВОЕ ЛЕГУВАННЯ, НІКЕЛЬ, ХРОМ, СТАЛЬ, ПОКРИТТЯ.

Об'єкт дослідження — поверхневі шари сталі 40X13, отримані електроіскровим легуванням хромом та нікелем на повітрі.

Метою даної роботи є дослідження будови та властивостей поверхневих шарів сталі 40X13 після електроіскрового легування з почерговим нанесенням нікелю та хрому за схемами Ni-Cr та Cr-Ni.

Методи дослідження — мікроструктурний, гравіметричний, рентгеноструктурний, електронікроскопічний, мікрорентгеноспектральний, мікродюрOMETричний; випробування на зносостійкість та корозійну стійкість.

Встановлена можливість створення покриттів товщиною до 30 мкм з підвищеною до 4,7 ГПа мікротвердістю та у 1,69 разів зносостійкістю в процесі електроіскрового легування сталі 40X13 за схемами Ni-Cr та Cr-Ni. Виявлено, що послідовність нанесення нікелю та хрому не впливає на структуру, товщину, поверхневу мікротвердість та стійкість до зношування створених покриттів. Найбільш корозійностійкими є покриття Ni-Cr у розчині морської солі, а покриття Cr-Ni у оцтовій кислоті.

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

ABSTRACT

Master thesis : 73 pages, 33 figures, 19 tables, 44 literary sources.

ELECTRIC-SPARK ALLOYING, NICKEL, CHROME, STEEL, COATING.

The object of the study is the surface layers of steel 40X13, obtained et electric-spark alloying by chromium and nickel in the air.

The purpose of this work is to investigate the structure and properties of surface layers of steel 40X13 after electric-spark alloying with the alternating application of nickel and chromium by the Ni-Cr and Cr-Ni schemes.

Methods of investigation - microstructural, gravimetric, X-ray, electron microscopic, microrentgenospectral, microdurmetric; a test of wear resistance and corrosion resistance.

The possibility of creating coatings up to 30 microns thick with a microhardness up to 4.7 GPa and 1.69 times wear resistance in the process of electric-spark alloying of steel 40X13 steel under the Ni-Cr and Cr-Ni schemes was established. It was found that the sequence of application of nickel and chromium does not affect the structure, thickness, surface microhardness and wear resistance of the created coatings. The most corrosion-resistant is the coating of Ni-Cr in a solution of sea salt, and the coating of Cr-Ni in acetic acid.

Practical significance: the results obtained in the work and the established patterns of formation of alloyed layers structure and properties after the process of electric-spark alloying in the air can be used to extend the life of the parts of machines and mechanisms working in hard environments.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Структура та властивості хромових та нікелевих покриттів на сталях	12
1.2 Діаграма фазового стану	17
1.3 Висновки до розділу 1	21
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	22
2.1 Матеріали дослідження	22
2.2 Методика експерименту	23
2.3 Методи дослідження	25
2.3.1 Гравіметричний аналіз	25
2.3.2 Мікроструктурний аналіз	26
2.3.3 МікродюрOMETричний аналіз	26
2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз	27
2.3.5 Растрова електронна мікроскопія та мікрорентгеноспектральний аналіз	27
2.3.6 Випробування на корозійну стійкість	28
2.3.7 Випробування на зносостійкість	30
2.4 Висновок до розділу 2	31
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	32
3.1 Будова поверхні сталі 40X13 після пошарового електроіскрового легування нікелем та хромом	32
3.2 Властивості електроіскрових покриттів Cr-Ni, Ni-Cr на сталі 40X13	39
3.3 Висновки до розділу 3	45
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	47

4.1	Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)	47
4.2	Висновки до розділу 4.....	52
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
5.1	Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві.....	53
5.2	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	53
5.2.1	Мікроклімат	53
5.2.2	Освітленість	55
5.2.3	Шум.....	56
5.2.4	Електробезпека	57
5.2.5	Запиленість та загазованість.....	58
5.3	Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	59
5.3.1	Розрахунок вентиляції.....	59
5.3.2	Пожежна безпека	60
5.4	Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	62
5.4.1	Пожежна безпека	62
5.4.2	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	65
5.5	Висновки до розділу 5.....	65
	ВИСНОВКИ	67
	CONCLUSIONS	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69

ВСТУП

Однією з найбільш важливих проблем матеріалознавства є необхідність забезпечення довговічності та надійності деталей машин та інструментів, що працюють в складних експлуатаційних умовах. Шляхом вирішення цієї проблеми є зміцнення поверхневого шару виробів різними методами обробки.

Електроіскрове легування (ЕІЛ) є одним з видів електрофізичної обробки, що оснований на модифікації структури поверхневих шарів металу та перенесення речовини з аноду на катод – підкладинку при багатократній дії електричних розрядів [1].

Як відомо, на товщину та суцільність електроіскрових покриттів впливає матеріал обраних легувальних анодів. При утворенні необмежених твердих розчинів з матеріалом основи ефективність формування покриттів значно зростає [2].

Як відомо з літературних джерел, хромові та нікелеві покриття на сталевій поверхні, одержані під час ЕІЛ, мають оптимальну товщину та суцільність. До того ж, такі леговані шари є міцними, зносо- та корозійностійкими. Щоправда, при нанесенні тільки одного з зазначених металів (нікелю або хрому) не завжди можна досягти потрібних експлуатаційних властивостей. З погляду на це, викликають цікавість покриття, що одночасно містять декілька елементів. Можна передбачити, що вони матимуть комплекс підвищених фізико-механічних характеристик. Ефективність подвійних, потрійних та багатокомпонентних систем, які мають широку область гомогенності, цілком заслуговує уваги науковців-матеріалознавців.

Зважаючи на те, що традиційно під час ЕІЛ використовують легувальні компактовані аноди, які стійкі до електричної ерозії за низьковольтних розрядів процесу обробки, як альтернативу, нами запропоновано послідовне нанесення чистих металів (нікелю та хрому), ерозія яких значно перевищує ерозію твердосплавів, що збільшує ефективність формування покриття. Враховуючи взаємну розчинність нікелю та хрому при взаємодії між собою та з матеріалом

основи (залізом), стає можливим створення багатокomпонентних функціональних покриттів.

Аналіз літератури свідчить про те, що існує обмежена кількість систематичних даних щодо властивостей зразків з поверхневим шаром, що був нанесений за допомогою електроіскрового легування хромом та нікелем.

В даній роботі зроблена спроба створення хромо - нікелевих та нікеле - хромових покриттів на поверхні сталі 40X13, одержаних шляхом почергового електроіскрового легування, вивчена їх будова та деякі властивості.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Одним з перспективних напрямків в області зміцнення інструментів і деталей машин є ЕІЛ, який дозволяє утворювати одну з найбільш тонких поверхневих модифікацій, що має високі показники густини енергетичного потоку за короткий час впливу і дозволяє створювати поверхневі структури з особливими властивостями.

Формуванню структури, фазового та хімічного складу легованих шарів присвячено багато наукових робіт [4], за результатами досліджень яких можна зробити деякі узагальнення, зазначені нижче.

1. Хімічний склад поверхневого шару в більшості випадів складається з елементів, що входять до складу матеріалу електродів і міжелектродного середовища. Фазовий склад – дрібнокристалічних хімічні з'єднання, тверді розчини, інтерметаліди, отримані в умові не рівноважних умовах [4].

2. Модифікований поверхневий шар неоднорідний за хімічним, фазовим складом і властивостями, як по глибині, так і вздовж легованого шару [4].

3. Маса катода в процесі ЕІЛ (з підвищенням питомої обробки) змінюється нелінійно і виражається кривою з максимумом. Кожному електричному режиму і складу матеріалу електродів відповідає певна товщина легованого шару. При ЕІЛ твердими сплавами легований шар не перевищує (50 – 100) мкм [4].

4. Чим більш інертне міжелектродне середовище, тим довше може тривати обробка катода і наносяться шари більшої товщини [4].

Однак, отримання легованого шару з прогнозованим хімічним, фазовим складом, структурою і властивостями пов'язано з тривалим експериментуванням по визначенню і вибору оптимальних режимів обробки, матеріалу легуючого електрода, між електродних середовищ. Це в значній мірі пояснюється тим, що на даний момент відсутні загально прийняті теоретичні основи процесу формування модифікованого шару, що дозволяють розглядати його склад, структуру і властивості в залежності від параметрів і умов процесу обробки. Ще не зрозуміле питання про відносний вплив на формування легованих шарів дії імпульсних

теплових і механічних навантажень, що виникають при іскровому розряді, і складу матеріалу, що переноситься з протилежного електрода. Відсутність теоретичних основ процесу формування модифікованого шару пов'язано, перш за все, зі складністю теоретичного опису теплових, термодинамічних і інших явищ, що відбуваються на робочих поверхнях електродів, процесів ерозії матеріалів електродів, масоперенесення продуктів ерозії і їх взаємодії з поверхневими шарами електродів та міжелектродним середовищем [4].

У порівнянні з відомими обробками поверхні металевих матеріалів, коли формування шару відбувається завдяки розвитку процесів дифузійного масоперенесення, технології ЕІЛ мають свої особливості. Процес перенесення металу від одного електрода (анода) на поверхню іншого (катода) заснований на механізмі руйнування (ерозії) при іскрових розрядах [1].

Відповідно до технології, заснованої на використанні віброуючого електроду і генератора залежних імпульсів, в загальному випадку рух анода до катода супроводжується зростанням напруги електричного поля до значення, достатнього для пробоя проміжку між електродами [2]. Сформований канал у вигляді пучка електронів починає взаємодіяти з поверхнею анода, в результаті чого відбувається розплавлення матеріалу анода. Після досягнення необхідної текучості рідини, крапля розплаву відділяється від анода і рухається в напрямку катода. При цьому, швидкість руху краплі рідкого металу повинна випереджати переміщення аноду. У момент досягнення рідкого металу поверхні катода відбувається досить швидка кристалізація, а наступний механічний імпульс від анода завершує етап формування з'єднання з поверхнею. Багаторазове поступове переміщення та механічна взаємодія аноду з поверхнею катода при реалізації вищезазначених процесів дає змогу створити легований шар – покриття [4].

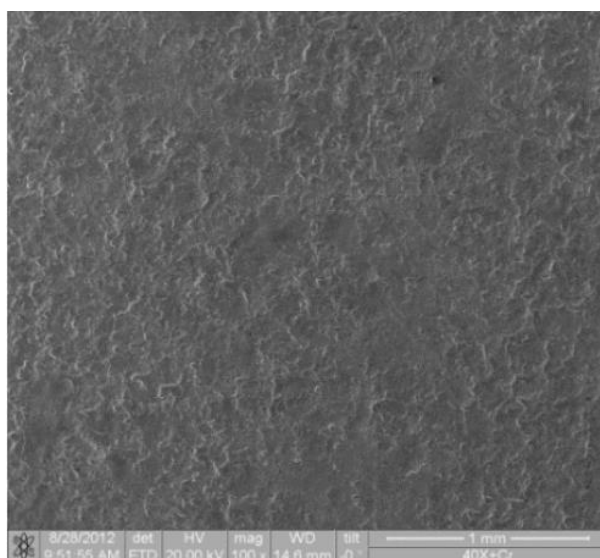
1.1 Структура та властивості хромових та нікелевих покриттів на сталях

Електроіскрова обробка матеріалів має специфічні особливості, які вивчають з різних сторін.

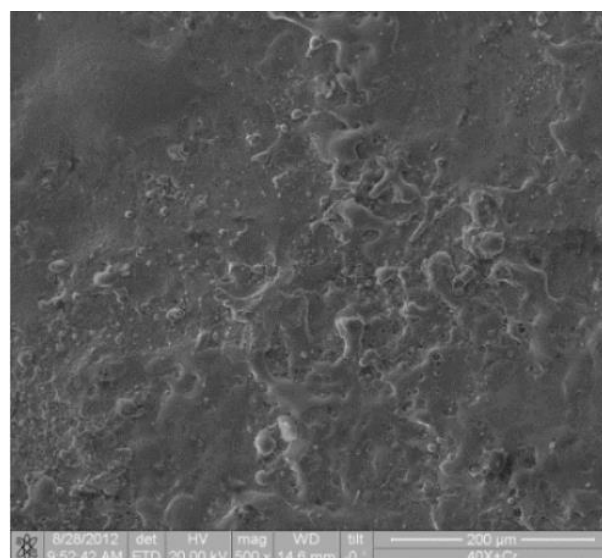
В роботі [5], вивчалися закономірності нанесення захисних і зміцнюючих покриттів з Ni, Cr та TiC на сталь 40X і досліджувався їхній хімічний і фазовий склад.

При дослідженні в роботі хромового покриття, рентгеноструктурний аналіз показав, що на поверхні є γ -Fe і Cr.

Значення мікротвердості по Вікерсу показали, що міцність матеріалу-основи практично не змінилася. По знімках, отриманим за допомогою растрової електронної мікроскопії чітко видно, що покриття вийшло досить рівномірним і якісним, щоб задовольнити вимогам в машинобудуванні. Яких-небудь дефектів (тріщини, просвіт матеріалу-основи і ін.) не спостерігається. Однак, при великому збільшенні (рис.1.1) видно нерівномірний розподіл покриття [5].



а



б

а- x100 б-х500

Рисунок 1.1 - Структура хромового шару при збільшенні на поверхні сталі 40X [2]

Антикорозійні властивості таких покриттів знаходяться на необхідному рівні для експлуатації, адгезія і міцність задовольняють умовами застосування даного типу покриття в машинобудуванні та будівництві. Часткове гартування поверхні в зоні термічного впливу на границі покриття-підкладка не призводить до окрихчування покриття. Як наслідок, авторами роботи [5] був отримано якісний зразок.

В роботі [6] досліджувалась структура хромового електроіскрового покриття. Електроіскрове легування хромом спричиняє утворення на поверхні деталі характерної структури (рис. 1.2), яка складається з крапель розплавленого хрому, що переносяться в плазмі електроіскрового розряду на холодну (293 К) сталеву підкладку. Рельєф поверхні доволі грубий, шорсткість її після електроіскрового легування хромом становить 1,35 мкм. Результати діаметричного дослідження легованого хромом шару сталі 30ХГСА показали, що середнє значення мікротвердості перехідного шару становить 7,3 ГПа, а широкий розкид її значень (3,67–13,7) ГПа свідчить про істотну неоднорідність структури [6].

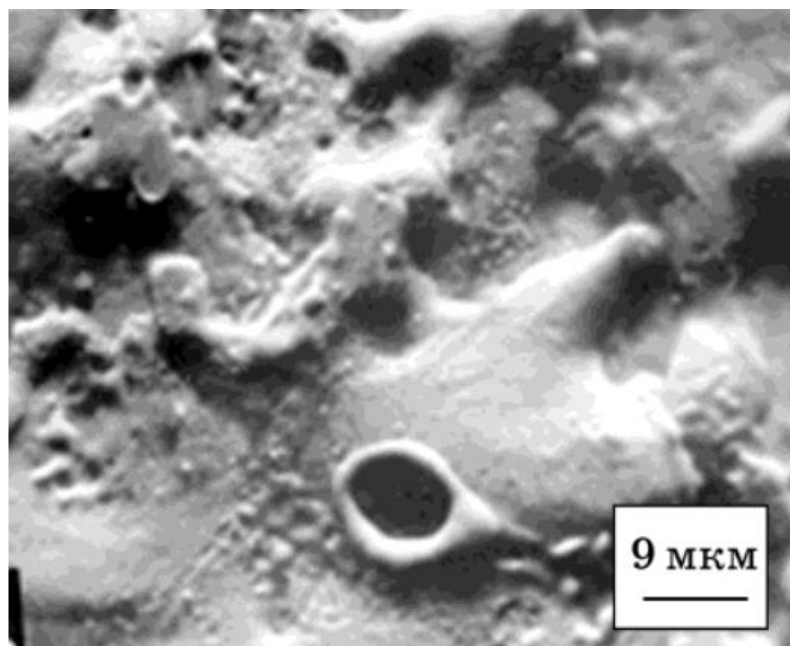
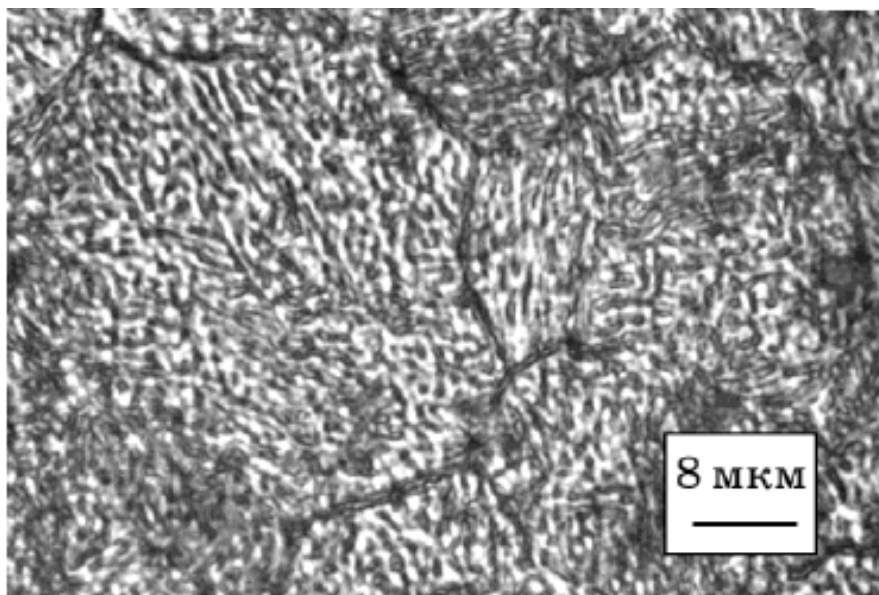


Рисунок 1.2 - Структура поверхні хромового електроіскрового покриття на сталі 30ХГСА [6]

Для стабільності фазового складу та структури у роботі [6] зразки були відпалені протягом 3600 с за температури 953 К. Після відпалу середня мікротвердість електроіскрового покриття на сталі 30ХГСА знизилась приблизно в 1,5 рази (4,95 ГПа), а розкид значень мікротвердості істотно зменшився (4-6) ГПа. Зі значним подрібненням зернистої структури перехідного шару відбувається зміцнення легованого шару приблизно в 3–5 разів. Як зазначається, електроіскрові покриття являють собою нестабільну «миттєво заморожену» (10^3 с) багатофазну систему, тому нагрівання призводить до змін в її структурі. Мікроструктуру перехідного шару хромового електроіскрового покриття на сталі 30ХГСА після відпалу подано на рис. 1.3. В середині зерна видно сформовану евтектику. Згідно [6], в подібних багатокомпонентних системах на основі Fe - Cr при ізотермічному відпалі може відбуватися розпад твердого розчину за комірчастим механізмом.



після ізотермічного відпалу $T = 973$ К, $t = 3600$ с

Рисунок 1.3 - Структура перехідної зони хромового електроіскрового покриття на сталі 30ХГСА [7]

Дослідження нікелевмісних покриттів на корозійну стійкість описані в роботі [8].

Покриття отримували шляхом електрохімічного осадження сплаву на сталеві вироби. Для оцінки якості отриманих покриттів було використано наступні методи: візуальний огляд, зняття поляризаційних кривих, випробування в камері сольового та оцтово-сольового туману, визначення стійкості в парах оцтової кислоти.

На основі корозійних випробувань встановлено, що мінімальний вміст W в сплаві, що забезпечує в п'ять разів вищу корозійну стійкість, у парах оцтової кислоти, покриттів зі сплаву Ni-W, в порівнянні з блискучими нікелевими, складає близько 4 мас.% [7].

Для підвищення корозійної стійкості Ni-W покриттів, шляхом зменшення крихкості та кількості тріщин у покритті, запропоновано введення до складу розчину електроліту сульфату магнію та використання імпульсно-реверсного струмового режиму електролізу.

На основі результатів лабораторних та промислових корозійних випробувань зразків з покриттями у камерах сольового та оцтово-сольового туману встановлено, що підвищення корозійної стійкості відповідних покриттів досягається шляхом нанесення багатошарового Ni-W покриття зі зменшеною (до 3 мкм) товщиною мідного підшару [7].

В роботі [9] досліджено вплив знакозмінного високо циклового (107 циклів) навантаження і температури на структуру поверхневих шарів хромових електроіскрових покриттів на сталі 30ХГСА.

Зразки з хромовим електроіскровим покриттям відпалювали згідно [9] за температури 953 К, нижчої від температури фазового перетворення. Структуру легованого шару для металографічних досліджень виявляли за допомогою іонного травлення в плазмі вуглецю протягом 40 хв. (ВУП-3).

В роботі [9] досліджено процес обробки газотермічних покриттів методом віброелектроіскрового легування. Наведено результати порівняльних експериментів щодо оцінки впливу таких технологічних параметрів процесу обробки, як тривалість обробки, напруга початку розряду та ємність конденсаторної батареї на зміну ваги та показники поверхні зразків із суцільного

матеріалу та з напиленим покриттям, а саме: розмірів, шорсткості поверхні та міцності зчеплення з основою. Встановлено, що ці характеристики для зразків з напиленим покриттям є дещо менші, ніж для зразків із суцільного матеріалу.

Для вирішення поставленої мети досліджень нами розроблено комбінований спосіб, який ґрунтується на обробці газотермічних покриттів в іскрових розрядах методом електроіскрового легування. Легування дасть змогу підвищити міцність зчеплення з основою, тобто покращить одну із основних характеристик покриття, що визначає його роботоздатність. Така обробка зменшує пористість основного покриття, підсилюючи тим самим, його корозійну стійкість, а шляхом підбору відповідних легуючих матеріалів цей метод дозволяє формувати антифрикційні та зносостійкі шари. Однак, успішне практичне використання даного методу для обробки газотермічних покриттів пов'язане з певними труднощами, які викликаються тим, що процес електроіскрового легування (EIL) характеризується значною кількістю технологічних параметрів, а загальноприйнята теорія формування цим методом поверхневих шарів відсутня. Оскільки ще не створено узагальнену модель електроіскрового легування, що не дозволило розробити нормативи технологічних режимів, які необхідні для досягнення конкретних результатів, для створення технології електроіскрового легування йдуть, як правило, експериментальним шляхом. Це вимагає проведення відповідних експериментальних досліджень при розробці нових напрямків використання зазначеного методу зокрема обраного нами для обробки газотермічних покриттів в іскрових розрядах. Тому перед нами в цьому дослідженні було поставлено завдання винайти і дослідити спосіб подальшої обробки напиленого покриття, який би комплексно вирішував задачу якісного захисту покритої поверхні виробу, підвищуючи його надійність та довговічність [10].

Як зазначається в роботі [11] електроіскрове легування хромом спричиняє утворення на поверхні сталевій деталі характерної структури (рис.1.4), яку формують краплі розплавленого хрому, що переносяться в плазмі електроіскрового розряду на холодну (293 К) сталеву підкладку. Рельєф поверхні

доволі грубий, шорсткість її після електроіскрового легування хромом становить 1,35 мкм.

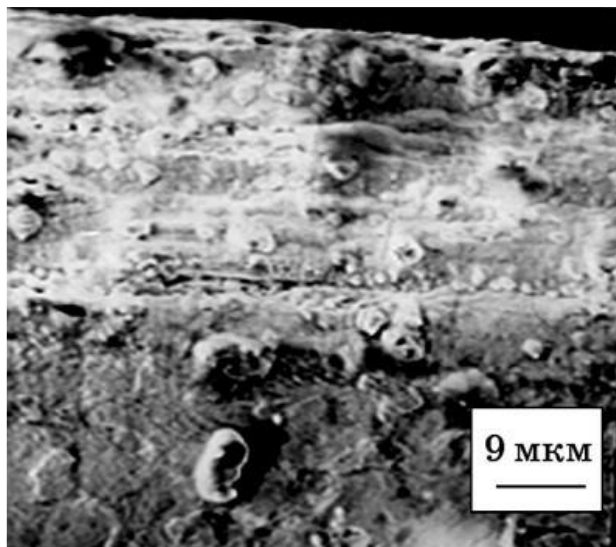


Рисунок 1.4 Структура поверхні хромового електроіскрового покриття сталі 30ХГСА [8]

Результати дюрOMETричних досліджень легованого хромом шару сталі 30ХГСА показали, що середнє значення мікротвердості перехідного шару становить 7,3 ГПа, а широкий розкид її значень (3,67–13,7) ГПа свідчить про істотну неоднорідність структури.

1.2 Діаграма фазового стану

Система залізо-хром-нікель [12] є основою корозійностійких сталей. Для раціональної організації виробництва цих марок сталі необхідно мати інформацію про зміну фазових характеристик сплаву в залежності від хімічного складу, про температурах початку і кінця кристалізації, мати уявлення про структурні зміни при охолодженні. Така інформація може бути отримана при розрахунку і побудові діаграм стану.

При аналізі фазової рівноваги в трикомпонентній системі Fe-Cr-Ni необхідно знати властивості фаз, що утворюються в двокомпонентних системах

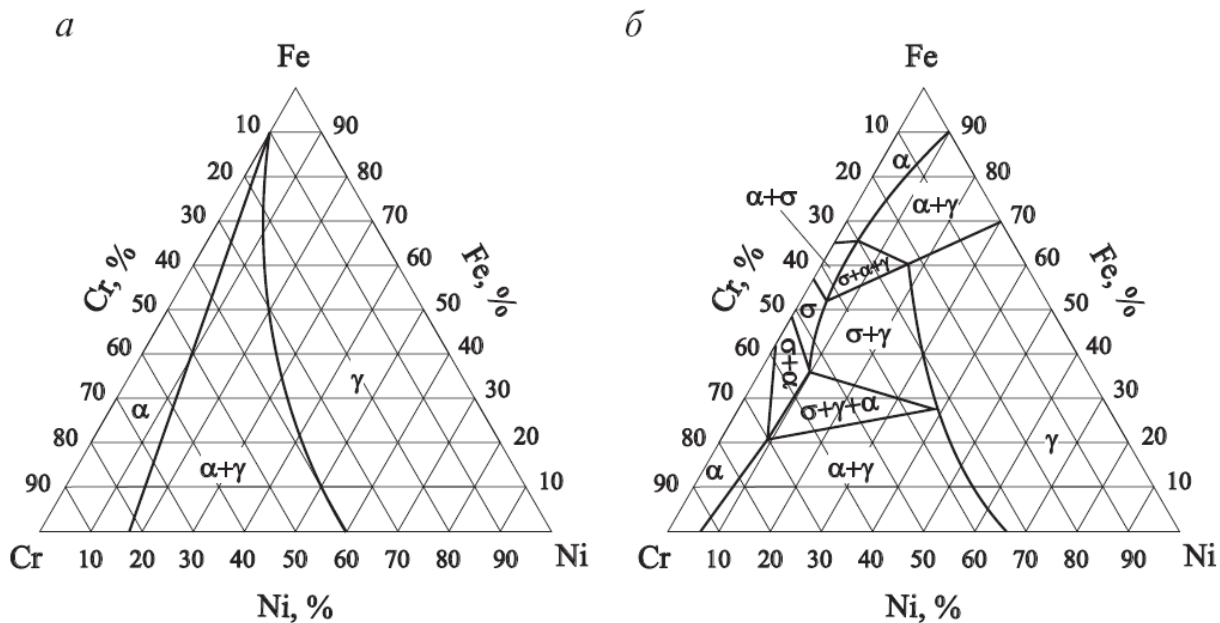
залізо-хром, залізо-нікель і хром-нікель, а також фазові рівноваги і термодинамічні характеристики компонентів в цих системах.

Термохімічні дані і параметри моделі, необхідні для розрахунку, отримані при оптимізації експериментальних даних. Графічна залежність результатів розрахунку за отриманими співвідношенням представлена на рис.1.5 у вигляді політермічної поверхонь ліквідус і солідус трикомпонентної системи Fe-Cr-Ni [13].

Діаграми стану потрійних систем, до складу яких входить залізо, в ряді випадків виявляються ускладненими через наявність поліморфізму в залозі. При сплаві заліза з різними елементами відбувається зміна положення критичних точок A3 і A4, причому одні елементи (V, Cr, Mo, Si і ін.) підвищують точку A3 і знижують A4, викликаючи звуження області g-фази, в той час як інші (Mn, Ni та ін.) діють в протилежному напрямку, що призводить до розрину g-області. В системі Fe-Cr-Ni ізотермічний переріз при 1100 °C (рис. 4.13, а) значно відрізняється від перетину при 400 °C (рис. 4.13, б). В першому випадку є лише три області фазової рівноваги: α , $\alpha + \gamma$ і γ . При цьому нікель розширює область g-фази, а хром - область α -фази. В системі Fe-Cr з підвищенням температури утворюється фаза s, в ос- нове якої лежить з'єднання FeCr. Дана фаза переходить з системи Fe-Cr в систему Fe-Cr-Ni, і введення нікелю спільно з другими фазами збільшує ймовірність виникнення s-фази (області цієї фази розширюється).

З наведених графічних залежностей випливає, що первинно кристалізованими фазами є ферит або аустеніт. Процес кристалізації завершується утворенням твердих розчинів ОЦК або ГЦК структури. При цьому можливе утворення також суміші твердих розчинів $\alpha + \gamma$. На рис. 1.5 штриховими лініями показані трифазні рівноваги ($\delta + \alpha + \gamma$) в інтервалі кристалізації.

Політермічний розріз на рис. 1.5 визначає комплекс фаз, що утворюються при кристалізації рідкого розплаву з концентрацією 20 мас. %хрому [12].



а – поверхня ліквідус при 1100 °С, б – поверхня солідус при 400 °С

Рисунок 1.5 – Потрійна діаграма стану системи Ni-Cr-Fe [12]

При температурі 1000 °С і вмістом нікелю до 4 мас. % термо динамічності стійкою фазою є ферит. При підвищенні концентрації нікелю сплави мають двохфазну структуру.

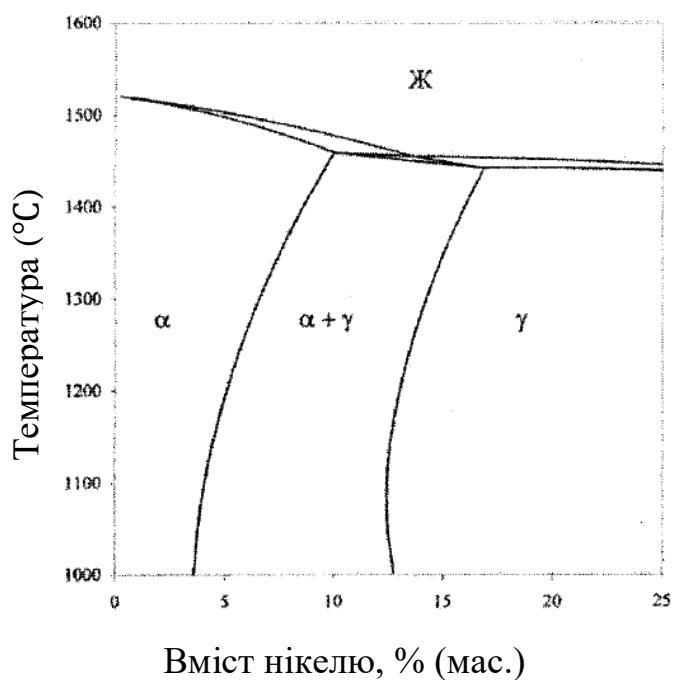


Рисунок 1.6 - Політермічний розріз діаграми стану системи Ni-Cr-Fe при 20 мас. % хрому [9]

В системі Cr-Ni-Fe [9] існує проміжна фаза Ni_2Cr , яка утворюється в твердому стані. Евтектика між (Ni) і (Cr) кристалізується при температурі $1345\text{ }^\circ\text{C}$ і вмісті 56 ат. % Cr. Розчинність Ni в (Cr) становить 32 ат. % при евтектичній температурі, 10 ат. % - при $1000\text{ }^\circ\text{C}$ і ат. 2% - при $500\text{ }^\circ\text{C}$. Розчинність Cr в (Ni) дорівнює 50 ат. %. При евтектичній температурі і 36 ат. % - при $700\text{ }^\circ\text{C}$. Встановлено, що для стехіометричного складу Ni_2Cr температура упорядкування становить $590\text{ }^\circ\text{C}$. Сполука Ni_2Cr має інтервал гомогенності (25-36) ат.% Cr. Структура Ni_2Cr -відноситься до типу MoPt_2 . [9]

Є відомості про дві метастабільні фази. Одна фаза знаходиться поблизу складу сплаву з 70 ат. % Cr. Друга фаза знаходиться при складі сплаву, що містить понад 70 ат. % Cr.

Хром з залізом утворює безперервний ряд твердих і рідких розчинів (рис 1.7). Для сплаву 30 % Fe + 70 % Cr температура солідус становить $1580\text{ }^\circ\text{C}$, а ліквідус $1640\text{ }^\circ\text{C}$. Область γ -фази повністю замикається при 13 % Cr.

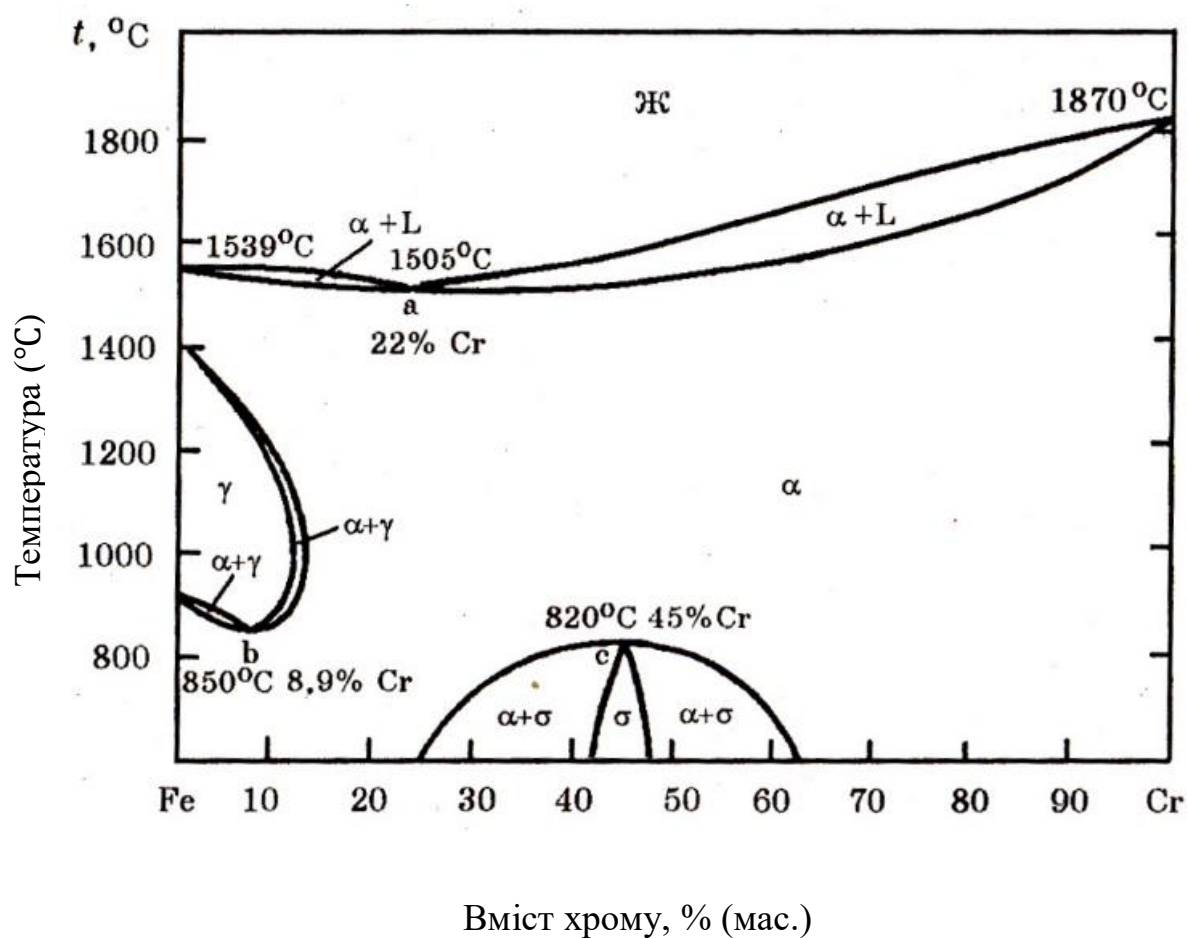


Рисунок 1.7 - Фазова діаграма системи Fe-Cr [15]

При температурі менше або дорівнює 820 °С в інтервалі (25-65) % Cr є жорстка σ -фаза.

Хром з вуглецем утворює карбіди Cr_{23}C_6 ; Cr_7C_{23} і Cr_3C_2 з 5,58, 13,3 і 9,0 % C відповідно, за новими даними і Cr C з 18,75 % C.

Монокарбід CrC в системі Cr-C стабільний в інтервалі (1500 – 2100) К, ентальпія утворення карбіду $\Delta H_{298}^0 = -10,9$ кДж / моль.

У системі Cr-Fe-C [16] існують наступні фази: а-твердий розчин вуглецю в хромі (МК), карбіди $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$; $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$; $(\text{Cr}, \text{Fe})_3\text{C}_2$ і інтерметаліди FeCr (σ -фаза).

З підвищенням концентрації вуглецю в системі 70 % Cr-Fe-C температура ліквідуса знижується з 1640 °С при 0 % C до 1400°С при (3-3,2) % C, а потім підвищується і при 8 % C досягає 1700 °С.

1.3 Висновки до розділу 1

На основі проаналізованих літературних даних можна зробити висновок про перспективність та ефективність ЕІЛ для поверхонь, що знаходяться в складних умовах роботи агресивних середовищ.

З'ясовано, що за допомогою ЕІЛ можна підвищити твердість локальних ділянок металевих поверхонь, що дозволяє значною мірою поліпшити експлуатаційні характеристики, відновити ушкоджені ділянки робочих поверхонь та продовжити строк їх експлуатації в агресивних середовищах.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 Матеріали дослідження

Матеріалом дослідження обрано сталь 40X13 (табл. 2.1), яка отримала широке застосування з таких причини, що з неї можна виготовляти:

- ріжучий, вимірний та хірургічний інструменти;
- пружини, підшипники та інших деталей, що працюють на зношування в слабо агресивних середовищах;
- побутові прилад та предмети домашнього побуту;
- жароміцний та жаростійкий матеріал при роботі до 400 °С – 450 °С для кріпильних виробів, вали, пружні елементи, що «відчувають» вплив слабо агресивних середовищ, наприклад, при переробці нафти [8].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40X13[16]

Назва елемента	Масова доля, %
C	0,35 – 0,44
Si	до 0,6
Mn	до 0,6
Ni	до 0,6
S	до 0,025
P	до 0,03
Cr	12 –14
Fe	~ 84

The pie chart illustrates the chemical composition of steel 40X13. The largest slice is Iron (Fe) at 84%. Chromium (Cr) accounts for 14%. Other elements shown as very small slices include Carbon (C), Silicon (Si), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Sulfur (S), and Phosphorus (P).

Сталь марки 40X13 широко застосовують у всьому світі для виготовлення кухарських ножів. Вироби з цієї сталі чудово підходять для використання в побуті, адже вони корозійностійкі, легко наточуються та непримхливі у догляді.

Окрім того, сталь 40X13 використовують для виробництва медичних скальпелів та інших інструментів. З неї також виготовляють пружини, підшипники, компресорні елементи і т.д.

Єдиним мінусом виробів з зазначеної сталі є їх неспроможність опиратися агресивним середовищам та високим температурним режимам. Саме через останнє 40X13 не піддають зварюванню [16].

Дане дослідження спрямоване на утворення міцного, зносостійкого покриття з сильною адгезією, між покриттям та матрицею основи, з можливістю застосування на ріжучих кромках лез, в агресивних середовищах. Наприклад для промисловості, машин та механізмів що працюють у агресивних середовищах [18].

2.2 Методика експерименту

Для досягнення мети роботи ЕІЛ здійснювалося пошаровим нанесенням нікелю та хрому за схемами: Cr-Ni, Ni-Cr.

Як аноди використовувались чисті метали Ni (до 99,9 мас. %), Cr (до 99,9 мас. %).

Обґрунтування вибору Ni та Cr, як легувальних електродів, полягає в утворенні необмежених твердих розчинів з матеріалом основи (α -Cr - α -Fe та γ -Ni - γ -Fe), що надає змоги отримати покриття з високою адгезією.

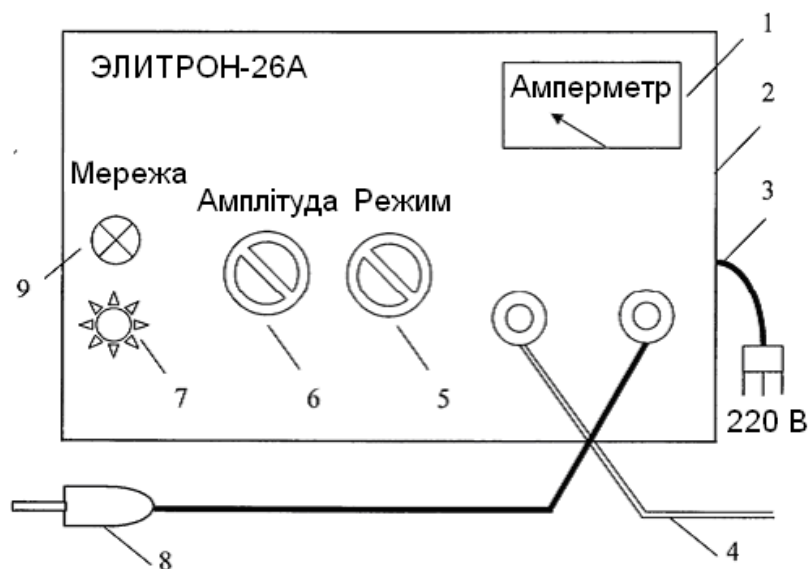
Нанесення покриттів відбувалося за параметрів обробки:

- сила струму $I = 2 \text{ A} - 2,5 \text{ A}$;
- напруга $U = 60 \text{ B} - 70 \text{ B}$;
- тривалість обробки – 1хв на 1 см^2 (загальна тривалість обробки кожного зразка– 6 хв.)

ЕІЛ проводиться на стандартній лабораторній установці “Елітрон–26А”. Схему установки наведено на рис. 2.1.

Увімкнення установки здійснюється вмикачем живлення установки 7, про що сповіщає сигнальна лампочка 9. Живлення установки відбувається від мережі

220 В. За допомогою тумблеру ступінчастого регулювання режиму 5 від 1 до 10 здійснюється корегування струму електроіскрового розряду у діапазоні від 0,1 А до 3 А, що контролюється амперметром 1. Тумблером регулювання амплітуди коливання аноду 6 здійснюється корегування частоти вібрації аноду (ступіні 1 – 10).



1 – амперметр; 2 – генератор; 3 – кабель живлення; 4 – з'єднувальний кабель (на плиту); 5 – тумблер ступінчастого регулювання режиму; 6 - тумблер регулювання амплітуди коливання аноду; 7 – вмикач живлення установки; 8 - вібробуджувач (на анод); 9 – сигнальна лампочка

Рисунок 2.1 - Установка “Элитрон-26А”[1]

Під час контактування аноду, закріпленому на вібробуджувачі 8 з катодом (зразком), закріпленому на контактній плиті, приєднаній через кабель 4, виникає електроіскровий розряд, під час якого здійснюється нанесення матеріалу аноду на катод. Вимикання установки здійснюється вимикачем живлення 7, коли загасає індикаторна лампа 9.

В ході експерименту зразок (катод) жорстко закріплюється тримачем, а віброуючий ручний пристрій (анод) переміщується над його поверхнею, періодично контактуючи з ним.

2.3 Методи дослідження

В роботі було використано такі методи дослідження: гравіметричний, мікроструктурний, рентгеноструктурний, рентгеноспектральний, мікродюрOMETричний аналіз, електрона мікроскопія, випробування на зносостійкість та корозійну стійкість.

2.3.1 Гравіметричний аналіз

Гравіметричний аналіз полягає в постійному вимірюванні маси аноду та катоду для подальшого обрахування основних параметрів процесу:

Питома ерозія аноду Δm_a та приріст маси катоду Δm_k , які вимірюють за кожну хвилину (прохід електроду) обробки 1 cm^2 поверхні катоду:

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

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

де t_n – час n -го вимірювання маси зразка;

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

Сумарні ерозія аноду $\Sigma \Delta m_a$ та приріст маси катоду $\Sigma \Delta m_k$, виміряні за час t , хв/cm^2 або кількість проходів електроду n .

$$\Sigma \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.3)$$

$$\Sigma \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.4)$$

де t_n – час n -го вимірювання маси зразка;

t_0 – до ЕІЛ.

Вимірювання маси катоду та анодів проводилось з використанням кінетику лабораторних вагів AXISAD 50 (з точністю $0,0005 \text{ г}$). Знаючи ці параметри можна дослідити кінетику масоперенесення в процесі ЕІЛ.

2.3.2 Мікроструктурний аналіз

Дослідження мікроструктури зразків проводилось шляхом її візуального вивчення за допомогою оптичних мікроскопів МИМ-10 при збільшенні у 200 разів – 500 разів.

Для того, щоб можна було побачити мікроструктуру зразку, його закріплювали у струбцину та шліфували в ручну на абразивному матеріалі різного розміру при переході від більшої зернистості до меншої, змінюючи на 90° напрямок шліфування. Потім проводили полірування на шліфувальних дисках, покритих сукном, при використанні оксиду хрому та води.

Травлення проводилось 20 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

2.3.3 МікродюрOMETричний аналіз

МікродюрOMETричний аналізу полягає в вимірюванні мікротвердості по глибині зразку. Мікротвердість вимірювалась на приладі ПМТ 3М. Визначення мікротвердості проводилось шляхом вдавлення стандартної алмазної пірамідки з кутом при вершині 136° при навантаженні 50 г впродовж 7 секунд -10 секунд. Значення мікротвердості визначалось по величині заглиблення пірамідки, тобто довжині діагоналей утвореного пірамідкою відбитку за формулою:

$$H\mu = \frac{1,854P}{d_{cp}^2}, \quad (2.5)$$

де $H\mu$ - значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор;

d_{cp} - середнє значення довжини діагоналі.

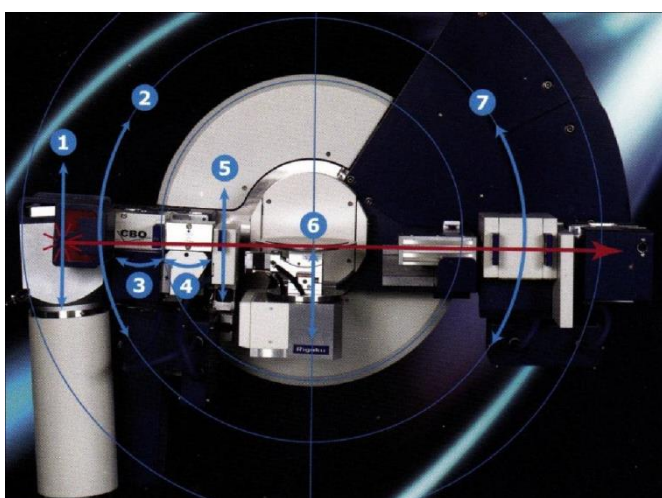
$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i1} + d_{i2}}{2n}, \quad (2.6)$$

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

2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз проведено з використанням дифрактометра «Ultima IV» фірми «Rigaku» та визначено: якісний фазовий аналіз покриттів; кількісний аналіз фаз; період ґратки; розмір кристалітів; досконалість кристалічної структури. Зйомка проводилась у мідному монохроматизованому випромінюванні при напрузі 30 кВ та струмі 30 мА.

Схема камери установки Rigaku Ultima IV зображена на рисунку 2.2.



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

Рисунок 2.2 – Схема установки Rigaku Ultima IV [20]

2.3.5 Растрова електронна мікроскопія та мікрорентгеноспектральний аналіз

Дослідження структури та хімічного складу поверхні зразків після ЕІЛ та ХТО проводилося на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И з енергодисперсійним аналізатором (ЕДАР) для хімічного аналізу.

Для отримання зображення топографії поверхні об'єктів застосовувалися вторинні або відбиті електрони. Електронний зонд (від 2 нм до 5 нм) розгортався у растр по поверхні досліджуваного зразка за допомогою системи сканування.

Роздільна здатність растрового електронного мікроскопу становила (3–5) нм [21]. В режимі зйомки поверхні зразків прискорююча напруга становила 200 кеВ. Збільшення мікроскопу складало від 2500 до 3000 разів.

Система енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізу (ЭДАР) призначена для експрес-аналізу хімічного складу поверхні твердого тіла в мікрооб'ємах з мікронним розділенням методом реєстрації енергії та інтенсивності характеристичного випромінювання, що генерується під час бомбардування зразка сфокусованим електронним променем. Ця система являє собою спектрометр енергій рентгенівського випромінювання в діапазоні від 1 кеВ до 40 кеВ. За допомогою спектрометра здійснювався якісний елементний аналіз конкретного місця структури, що обиралося на растровій фотографії, а також визначався розподіл концентрації елементів за точками на обраній ділянці.

2.3.6 Випробовування на корозійну стійкість

Одним із завдань було дослідження корозійної стійкості покриттів в агресивних середовищах таких як водний розчин морської солі (3 %) та 9 % розчин оцтової кислоти.

Перед випробуванням зразки промивали, знежирювали, сушили на повітрі, зважували і розміщали в скляну посудину для тестування за кімнатної температури. Після тестування протягом 1000 годин, знімали продукти корозії, а зразки знову зважували.

Оцінювання глибини корозійного руйнування проводилося якісними (візуальний огляд, мікроскопічні дослідження) і кількісним (ваговий) методами.

Кількісний метод оцінювання корозійної стійкості можна проводити за десятибальною шкалою втрати маси зразка за певний період часу на одиницю площі K , г/(м²·год) [22]:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}, \quad (2.7)$$

де Δm – втрата маси зразка при випробуванні, г;

S – загальна площа поверхні зразка, м²;

τ – час випробування, год.

Віднімаючи вагу зразка після випробування від початкової ваги і відносячи різницю до загальної площі поверхні зразка (у м²) і однієї години випробування, отримують показник корозії за втратою ваги, г / (м²·год), і перераховують його на втрату ваги, г / (м²·рік).

Перерахунок обох показників (K і $v_{кор}$) [3] проводять за формулою

$$v_{кор} = 8,76 \cdot \frac{K}{\rho}, \quad (2.8)$$

де $v_{кор}$ – швидкість корозії, мм/рік;

ρ – густина, г/см³;

K – швидкість корозії, г/(м²·год).

За розрахунками $v_{кор}$ можна дізнатися до якої групи відносяться покриття, за своєю корозійною стійкістю (табл. 2.2)

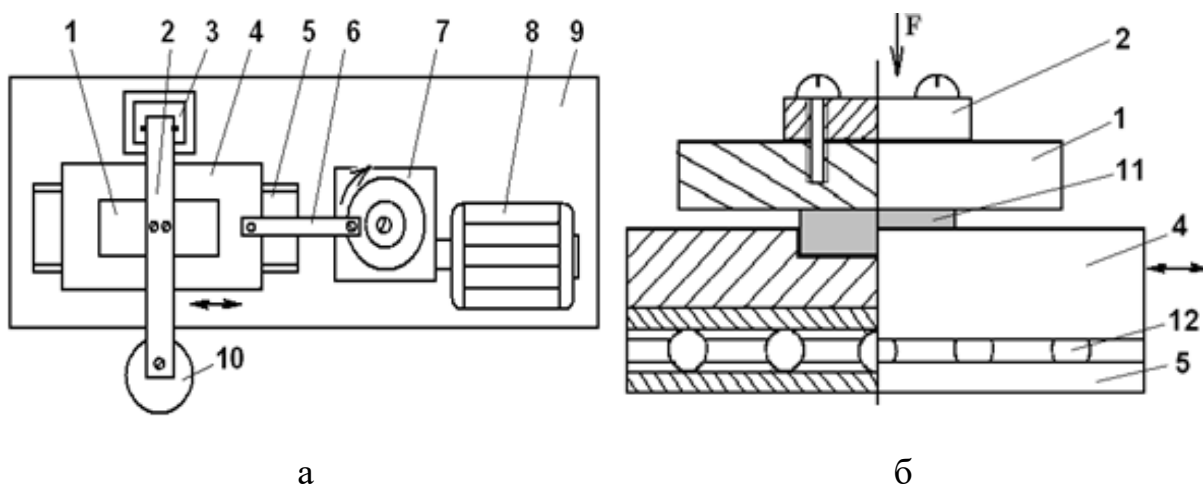
Таблиця - 2.2 – Десятибальна шкала корозійної стійкості [3]

Група корозійної стійкості	Швидкість корозії металу, мм/рік	Балів
Абсолютно стійкі	Менше 0,001	1
Достатньо стійкі	0,001 – 0,005	2
	0,005 – 0,01	3
Стійкі	0,01 – 0,05	4
	0,05 – 0,1	5
Знижено стійкі	0,1 – 0,5	6
	0,5 – 1	7
Малостійкі	1 – 5	8
	5 – 10	9
Нестійкі	Більше 10	10

2.3.7 Випробування на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проводилися на установці тертя, сконструйованій за принципом зворотно-поступального руху за схемою «площина по площині» в умовах тертя-ковзання без мастила (рис. 2.3).

Принцип дії установки є таким: обертання від електродвигуна постійного струму передається на шатун. Рухома платформа здійснює зворотно-поступальний рух по напрямним за допомогою шатуна, прикріпленого до оберտальної частини редуктора. На рухомій платформі розміщено досліджуваний зразок, який контактує з контр-тілом (сталь Р6М5), закріпленим на важелі, під час дії навантаження (гиря) 4 кг.



а – загальний вигляд, б – вузол тертя, 1 – контртіло; 2 – важіль; 3 – кріплення важеля; 4 – рухома платформа; 5 – нерухома платформа; 6 – шатун; 7 – редуктор; 8 – електродвигун; 9 – станина; 10 – гиря; 11 – зразок; 12 – підшипник

Рисунок 2.3 – Схема установки тертя [15]

Величина зношування оцінювалася ваговим методом – зважування зразка через пройдені кожні 96 м випробування (загальний пройдений шлях становить 1056 м) з використанням лабораторних електронних вагів AXISAD50 (точність визначення маси 0,0005 г).

За втратою маси обчислювався показник інтенсивності зношування I , $\text{кг}/\text{м}^2$:

$$I = \frac{\Sigma \Delta m}{s}, \quad (2.9)$$

де Δm – втрата маси, кг;

s – площа поверхні тертя зразка, m^2 .

За розрахованими значеннями I побудовано кінетичні криві інтенсивності зношування покриття в залежності від часу випробування через кожних 20 хвилин.

2.4 Висновок до розділу 2

Запропоновано режими послідовного ЕІЛ сталі 40Х13 хромом та титаном у різних послідовностях (Ni-Cr, Cr-Ni) на повітрі.

Обґрунтовано вибір матеріалу дослідження, легувальних анодів.

З'ясована доцільність використання комплексної методики дослідження, що включала: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний, рентгеноструктурний, рентгеноспектральний аналіз, електронну мікроскопію випробування на зносостійкість та корозійну стійкість для встановлення об'єктивних даних щодо структури та властивостей поверхневих шарів сталі 40Х13.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для встановлення кінетики формування, хімічного й фазового складу, будови та властивостей хромо-нікелевих електроіскрових покриттів на мартенситній сталі 40X13 було проведено ряд експериментів, результати яких наведено далі.

3.1 Будова поверхні сталі 40X13 після пошарового електроіскрового легування нікелем та хромом

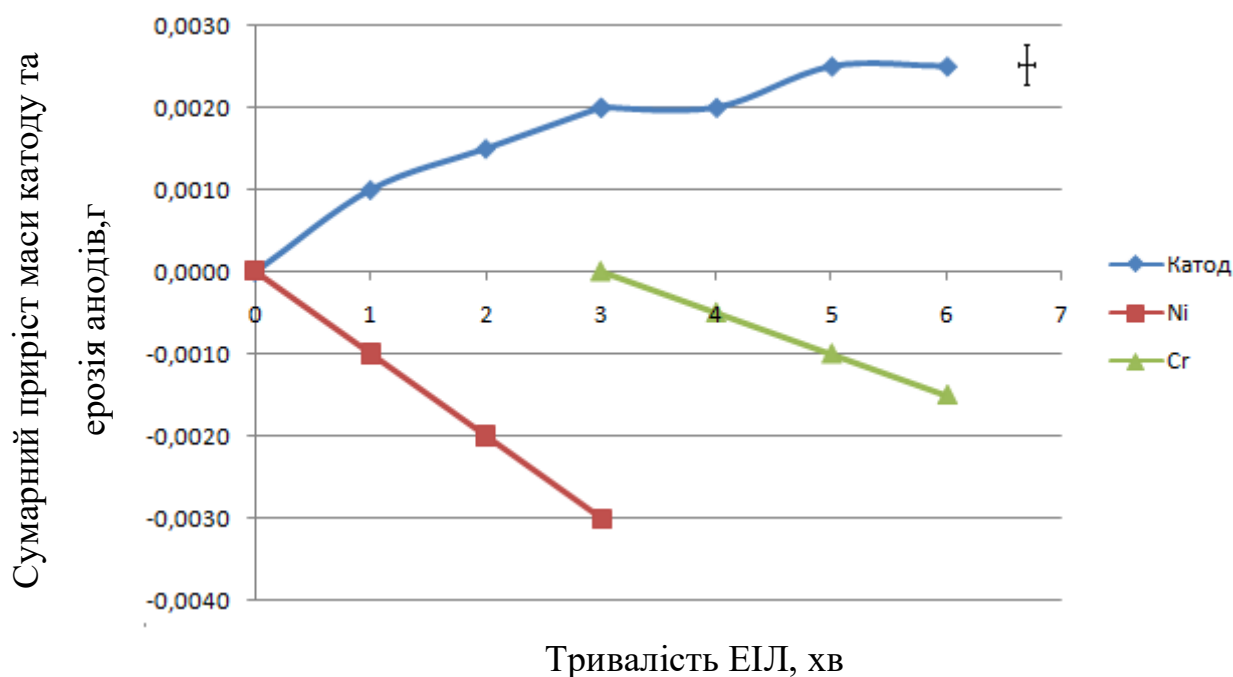
Для дослідження кінетики формування покриттів в процесі електроіскрового легування (ЕІЛ) сталі 40X13 хромом та нікелем проводився гравіметричний аналіз.

Використовуючи первинні дані гравіметричного аналізу, було обраховано сумарні ерозію анодів $\Sigma\Delta m_a$ та приріст маси катоду $\Sigma\Delta m_k$. Графік залежності цих величин від часу легування у послідовності Ni-Cr та Cr-Ni зображено на рис.3.1.

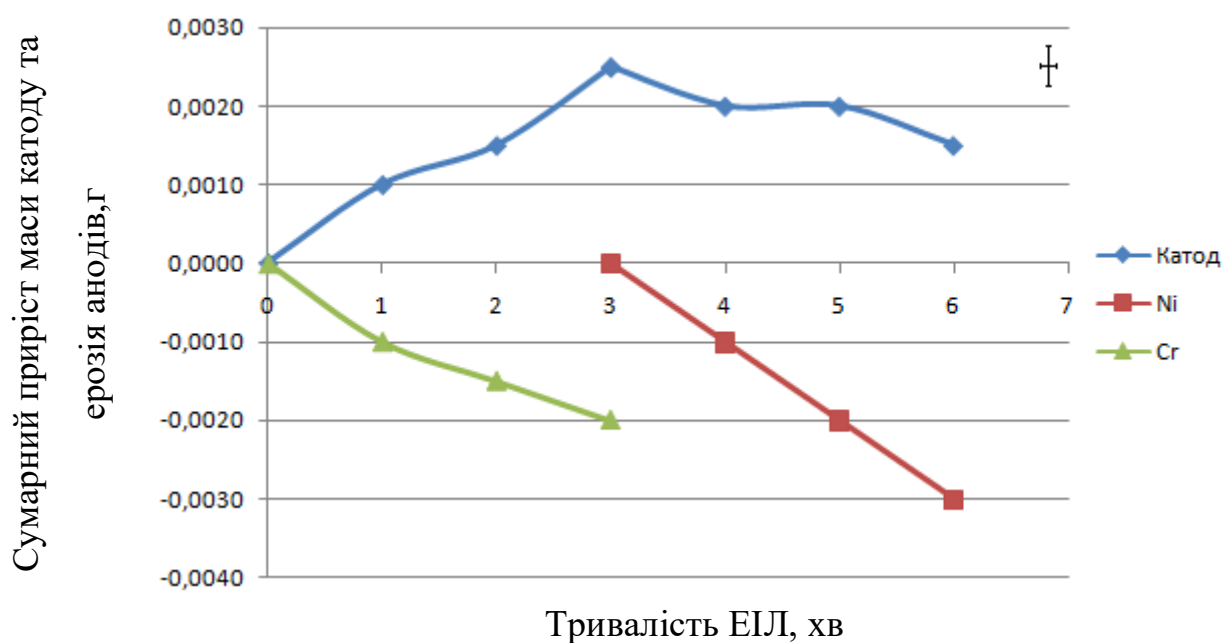
Як видно, для обох проведених процесів крива ерозії катоду знаходиться в додатній області, що свідчить про формування легованого шару без крихкого руйнування. Під час ЕІЛ з першою стадією нанесення нікелю на сталевій катод зростання графіку $\Sigma\Delta m_k$ збільшується протягом 3 хв. монотонно (рис 3.1 а). На другій стадії нанесення хрому даний графік зростає незначно, що можна пов'язати з утворенням розчину обмеженої розчинності хрому з попередню нанесеним нікелем.

У порівнянні з попереднім процесом ЕІЛ при легуванні хромом на першій стадії крива приросту маси збільшується різко протягом 3 хв. Це можна пояснити утворенням твердого розчину необмеженої розчинності α -Cr – α -Fe а також подібності кристалічних зазначених елементів (рис 3.1 б). Друга стадія процесу ЕІЛ – нанесення нікелю приводить до незначного зниження кривої сумарного приросту катоду. Тобто на другій стадії спостерігається зменшення маси і катоду і

аноду. Нижча температура плавлення нікелю у порівнянні з нанесеним хромом може сприяти незначному випаровуванню а донного елементу з поверхні.



а



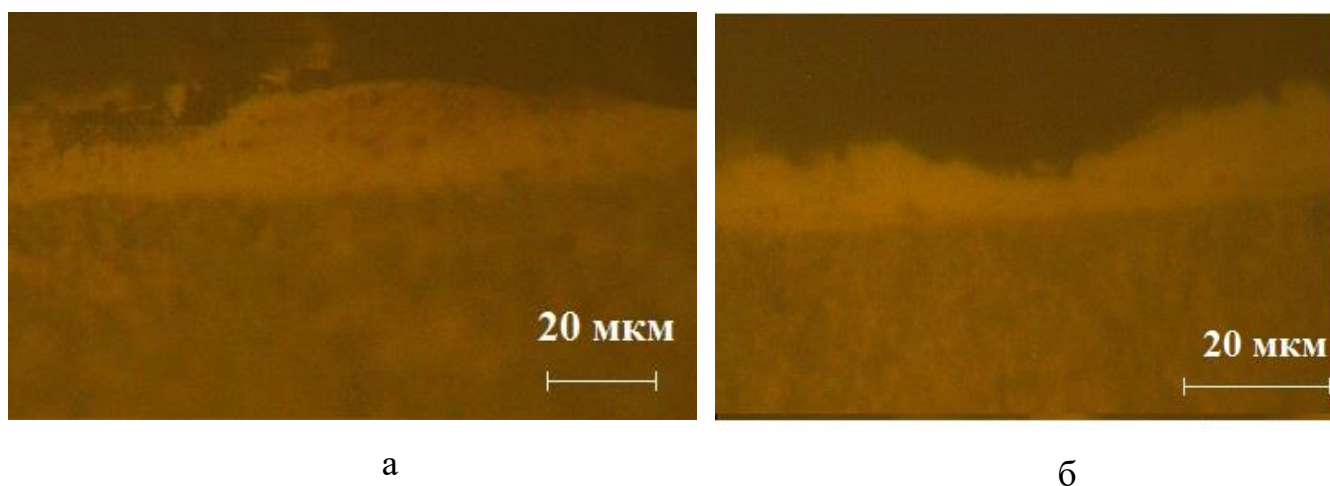
б

а – Ni-Cr і б – Cr-Ni

Рисунок 3.1 – Кінетика масоперенесення в процесі пошарового ЕІЛ сталі 40Х13 за схемою

Як видно, криві ерозії аноду є спадаючими, що свідчить про ерозію обраних електродів (Ni та Cr). Слід зазначити, що нахил кривої ерозії нікелевого аноду більший, ніж для хромового аноду. Очевидно, це пов'язано з різною ерозійною стійкістю даних елементів, яка залежить від їх температури плавлення. Температура плавлення нікелю становить 1455 °С, а хрому –1907 °С.

Структури одержаних покриттів сталевих зразків досліджувалися на мікроскопі МИМ-10. На рис.3.2 показана мікроструктура поперечних шліфів зразків сталі 40X13 з покриттями, одержаними у послідовності Ni-Cr та Cr-Ni.



а – зразок після ЕІЛ у схемою Ni-Cr; б – зразок після ЕІЛ у схемою Cr-Ni

Рисунок 3.2 - Мікроструктура сталі 40X13 після електроіскрового легування

Після аналізу структури виявлено, що поверхневий шар складеться з покриття та зони термічного впливу з подрібненими зернами.

Поява зони термічного впливу обумовлена короткочасним періодичним нагрівом з наступним швидким охолодженням під час електроіскрового розряда. Покриття, нанесене пошаровим легуванням у послідовності Ni-Cr, має товщину 20-30 мкм, а покриття нанесене пошарово у послідовності Cr-Ni – (10-30) мкм.

Загалом покриття, одержанні з різною послідовністю нанесення хрому та нікелю не є рівномірними по поверхні сталі 40X13. Найменша товщина шару Cr-Ni 10 мкм пояснюється даними гравіметричного аналізу, коли при нанесенні

нікелю приріст маси катоду зменшується. В очевидь, це відбувається через випаровування нікелю нанесеного на більш тугоплавкий хром

Більш детальне вивчення мікроструктури поверхневих шарів сталі 40X13 з нанесеними покриттями відбувалося за допомогою електронної мікроскопії, а визначення концентрації елементів за глибиною – електронномікроскопічним аналізом.

Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X13 при послідовності легування Ni-Cr зображена на рис.3.3; в таблиці 3.1 зазначено хімічний склад при поверхневій області за точками.

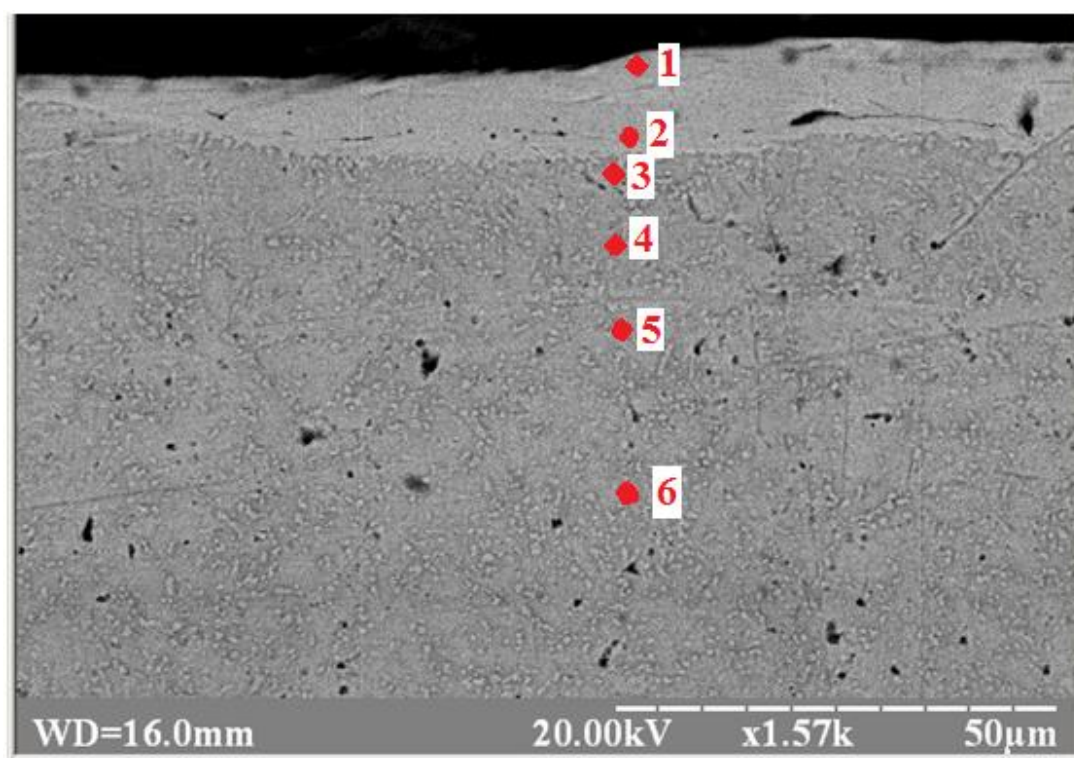


Рисунок 3.3 — Електронна мікрофотографія структури поверхневої ділянки сталі 40X13 після EIL Ni-Cr

В межах шару точки 1 та 2 рисунок 3.3 концентрація Ni становить (3,44 - 11,07) ат.%, а концентрація Cr становить (9,93 - 10,53) ат.%. Оскільки залізо у покритті знаходиться в концентрації (77,83-86,48) ат.%, можна стверджувати про ретельне перемішування матеріалів основа та легованих анодів.

Таблиця 3.1 — Концентрація елементів в поверхневому шарі сталі 40X13 з покриттям Ni-Cr

Точка	Інтенсивність*, ат.%				
	Fe	Cr	Ni	Mn	Si
1	77,83	10,53	11,07	0,35	0,22
2	86,48	9,93	3,44	0,14	0,02
3	93,06	5,96	0	0,87	0,12
4	94,70	4,24	0	1,04	0,02
5	91,89	7,46	0	0,51	0,14
6	96,57	3,30	0	0	0,13

*- Без урахування вуглецю.

Мікроструктуру поверхневого шару сталі 40X13 при послідовності легування Cr-Ni подано на рис.3.4, а хімічний склад за точками наведено в таблиці 3.2.

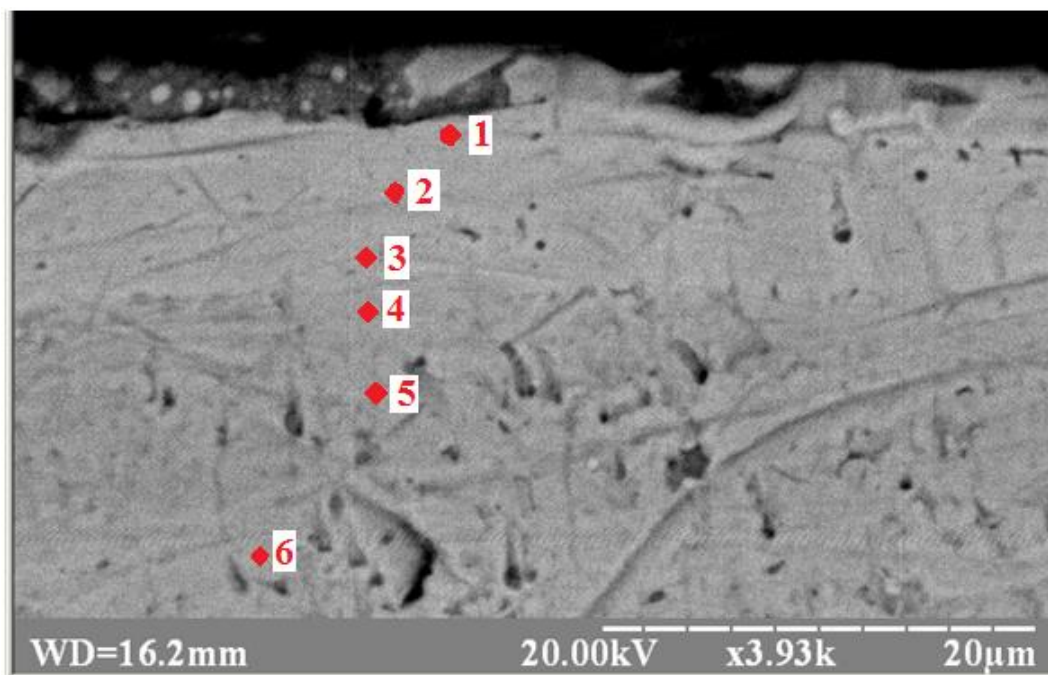


Рисунок 3.4 — Електронна мікрофотографія структури поверхневої ділянки сталі 40X13 після EIL Cr - Ni

В межах легуваного шару Ni-Cr в точки 1 та 2 концентрація Ni становить (3,44 – 11,07)ат.%, а концентрація Cr становить (9,93 – 10,53) ат.%.

Значної відмінності в концентрації елементів між стадіях легування не спостерігається.

Таблиця 3.2 — Концентрація елементів в поверхневому шарі сталі 40X13 з покриттям Cr -Ni

Точки	Інтенсивність*, ат.%				
	Fe	Cr	Ni	Mn	Si
1	83,45	9,23	6,54	0,77	0,02
2	80,59	5,92	12,75	5,92	0,12
3	84,97	5,09	8,96	0,98	0
4	95,82	2,81	0	1,37	0
5	92,48	6,33	0	1,14	0,05
6	96,83	2,26	0	0,81	0,10

*- Без урахування вуглецю.

За результатами рентгеноструктурного аналізу сталі 40X13 після електроіскрової обробки анодами у послідовності Ni-Cr на повітрі було виявлено наступні фази: твердий розчин необмеженої розчинності γ -Fe,Ni та Cr. Рентгенограма даного зразка наведена на рис.3.5.

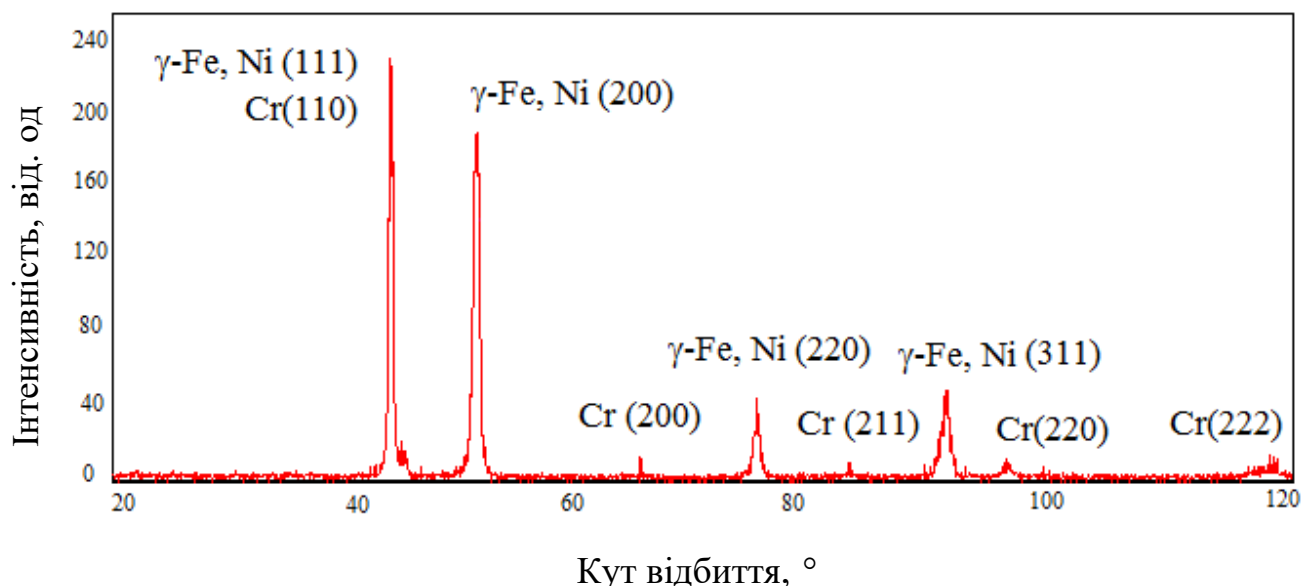


Рисунок 3.5—Дифрактограма поверхневого шару після ЕІЛ Ni-Cr

Дані фазового складу поверхневого шару сталі 40X13 після ЕІЛ занесені у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Фазовий склад поверхневого шару після ЕІЛ Ni-Cr

№	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань, d/n	Фаза(hkl)
1	43,579	2,0751	γ -Fe, Ni (111), Cr(110)
2	44,81	2,021	Cr (110)
3	50,82	1,7950	γ -Fe, Ni (200)
4	64,7358	1,4388	Cr (200)
5	74,54	1,2720	γ -Fe, Ni (220)
6	82,5877	1,1672	Cr (211)
7	90,47	1,0849	γ -Fe, Ni (311)
8	95,79	1,0382	Cr (220) , γ -Fe, Ni (222)
9	118,045	0,8984	Cr(222)

Рентгеноструктурним аналізом виявлено, що періоди кристалічних ґраток зазначених фаз становлять: γ -Fe - 3,6017 Å, для фази Ni - 3,5975 Å, для фази Cr - 2,8661 Å.

За рентгенофазовим аналізом покриття після електроіскрової обробки у послідовності у зворотній послідовності (Cr-Ni). Фазовий склад не змінюється, тобто фіксується твердий розчин γ -Fe,Ni з ГЦК ґраткою та Cr з ОЦК ґраткою (рис.3.6.).

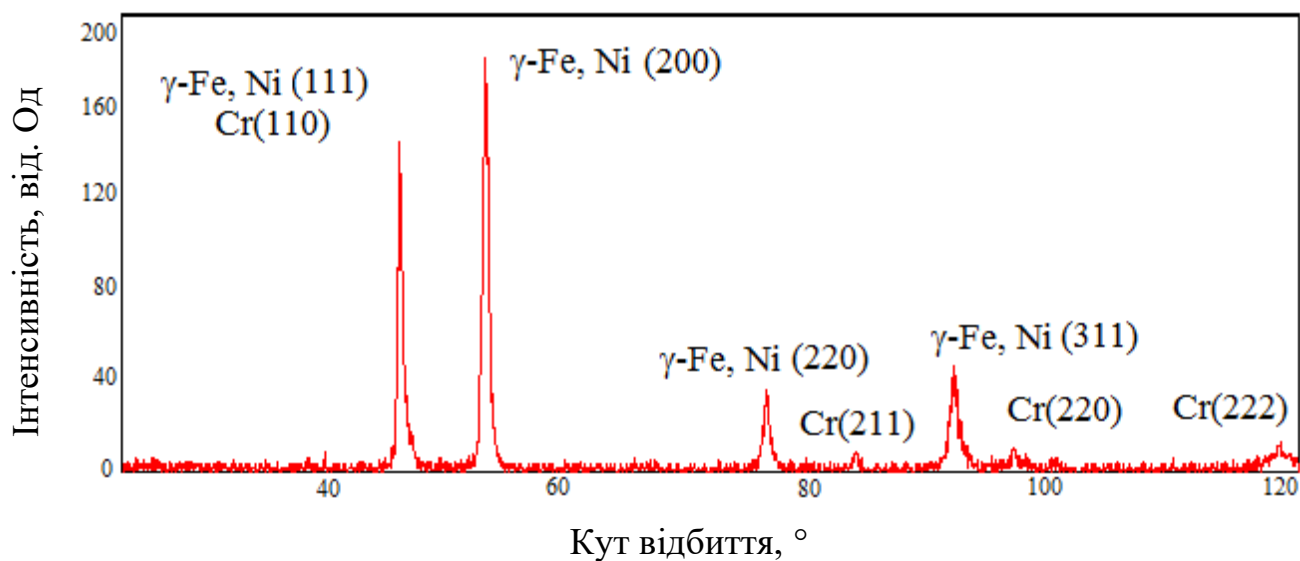


Рисунок 3.6 — Дифрактограма поверхневого шару після ЕІЛ Cr-Ni

Дані фазового складу поверхневого шару сталі 40X13 після ЕІЛ занесені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Фазовий склад поверхневого шару після ЕІЛ Cr-Ni

№	Кут відбиття, 2θ	Міжплощинна відстань. d/n	Фаза(hkl)
1	43,632	2,0727	Cr (110), γ -Fe, Ni (111)
2	50,91	1,7921	γ -Fe, Ni (200)
3	74,60	1,2711	γ -Fe, Ni (220)
4	82,4266	1,1691	Cr (211)
5	90,39	1,0857	γ -Fe , Ni (311)
6	95,7339	1,03869	Cr (220), γ -Fe, Ni (222)
7	118,239	0,897514	Cr (222)

Рентгеноструктурний аналіз виявив періоди кристалічних ґраток зазначених фаз. Зокрема для фази γ -Fe-3,6017 Å, для фази Ni- 3,252 Å, для фази, Cr-2,8661 Å.

З рисунків 3.5 і 3.6, а також таблиць 3.3 і 3.4 прослідковується подібність дифрактограм. Відмінність полягає у зміні інтенсивності перших двох ліній.

Це можна пов'язати з нерівноважним кількісним складом елементів в покритті, про що свідчить данні рентгеноспектрального аналізу.

3.2 Властивості електроіскрових покриттів Cr-Ni, Ni-Cr на сталі 40X13

За допомогою мікродюрметричного аналізу було встановлено розподіл мікротвердості за глибиною поверхневого шару (рис.3.7).

В легованому шарі Ni-Cr мікротвердість знаходиться в межах (3,1-4,6) ГПа, а при послідовності легування Cr-Ni мікротвердість знаходиться в межах (3,5-4,7) ГПа. Також бачимо, що зі збільшенням відстані від поверхні зразка, твердість сталі 40X13 зменшується і досягає значення 2,1 ГПа (основа).

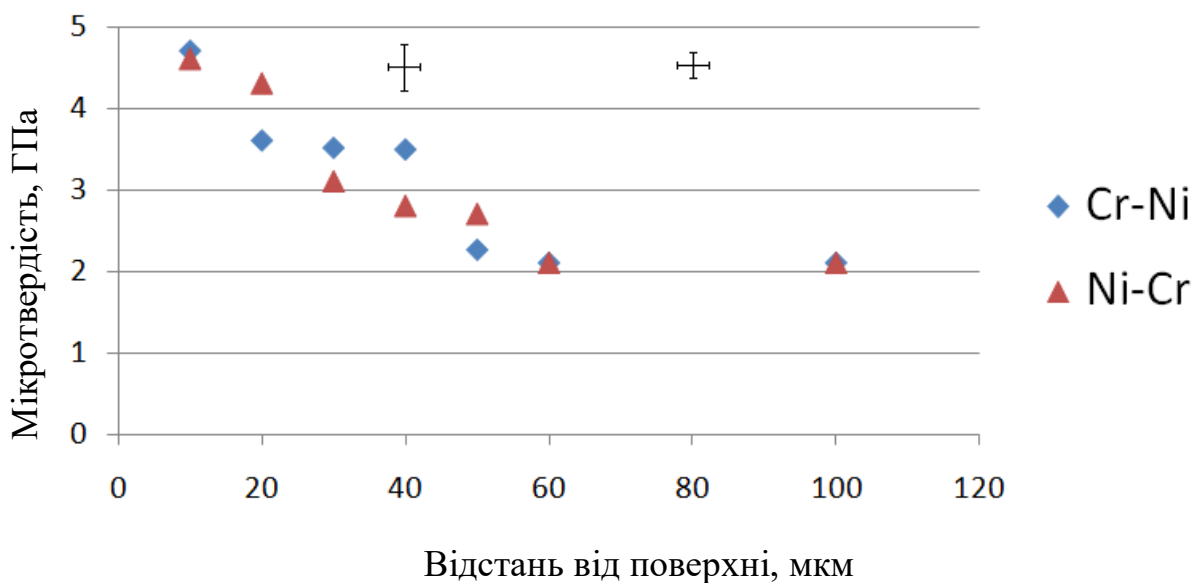


Рисунок 3.7 — Розподіл мікротвердості при поверхневої зони сталі 40X13 після пошарового ЕІЛ за схемами Ni-Cr та Cr-Ni

Випробування на зносостійкість проводилось на установці тертя, сконструйованій за принципом зворотно-поступального руху за схемою «площина по площині» в умовах тертя-ковзання без мастила протягом 6 годин. Контртілом виступала сталь Р6М5 під навантаженням 4 кг.

На рис.3.8 наведено порівняльний графік інтенсивностей зношування легованих поверхонь та вихідного зразка.

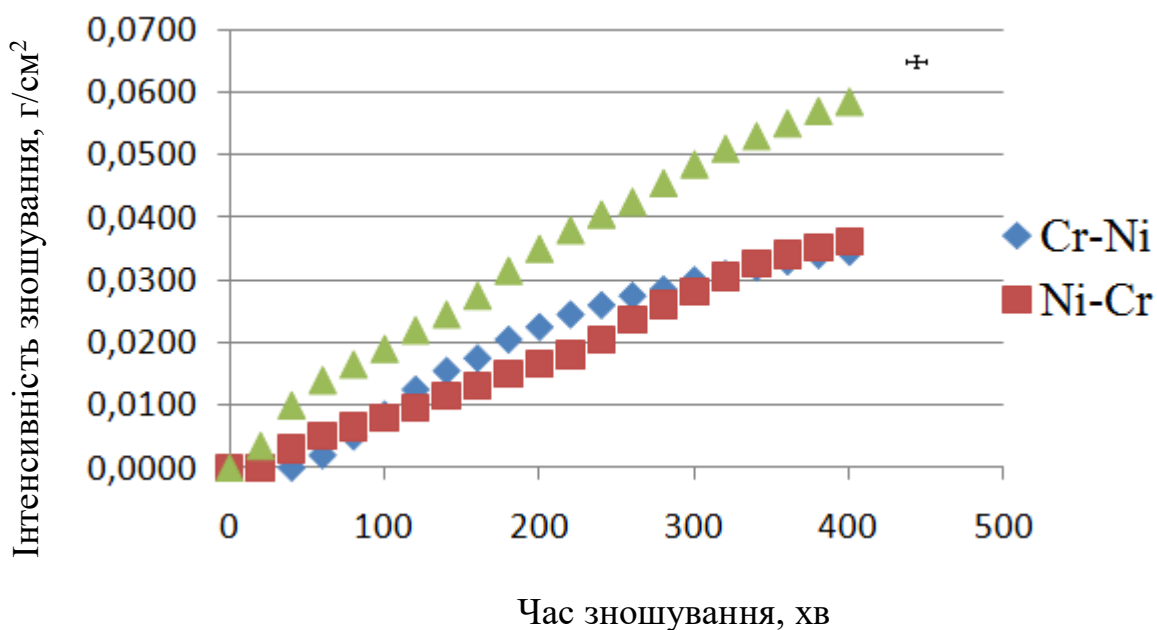


Рисунок 3.8 – Залежність інтенсивності зношування сталі 40X13 після ЕІЛ

З графіку видно що зразки з покриттям має меншу інтенсивність зношування, ніж без покриття. Це свідчить про те що з покриттям зразки зношуються менше.

Зносостійкість покриття, розрахована як обернена величина до інтенсивності зношування конкретного покриття та вихідного зразка без обробки, показала, що легований шар Ni-Cr у 1,62 разів, а Cr-Ni – у 1,69 разів більше, ніж сталь 40X13 без обробки.

Для дослідження корозійної стійкості зразків було проведено випробування в двох агресивних середовищах – у водному розчині морської солі та оцтової кислоти протягом 1000 годин.

Виявлення хімічної корозії відбувалося гравіметричним методом при урахуванні маси зразка до та після випробування. Розрахунок втрати маси здійснювався відносно кородуючої поверхні площею 1 см². Для чистоти проведення експерименту корозії піддавалися по одній грані зразків з покриттями та нелегованої сталі, а інші сторони ізолювалися силіконом.

Значення результатів випробування та розрахунків показників стійкості до корозії досліджуваних поверхонь наведені в таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 – Результати випробування на корозійну стійкість сталі 40X13 у розчині морської солі (3 %)

Матеріал	Маса зразка до випробування (m ₀), г	Маса зразка після випробування (m _к), г	Втрата маси зразка (Δm), г	Коефіцієнт корозійної стійкості (K), г/м ² год.	Швидкість корозії (v _{кор}) мм/рік	Група корозійної стійкості
покриття Ni-Cr	4,3275	4,3255	0,0020	0,020	0,024	4
покриття Cr-Ni	4,5025	4,4970	0,0055	0,055	0,054	5
сталь 40X13	3,8160	3,8110	0,0050	0,050	0,057	5

Коефіцієнт корозійної стійкості (K) визначався за співвідношенням втрати маси та добутку площі на час випробувань (за формулою 2.7).

Швидкість корозії ($v_{\text{кор}}$) розраховували за формулою 2.8. При визначенні $v_{\text{кор}}$ для зразків з покриттями враховано густину елемента, що наносився при ЕІЛ останнім ($\rho_{\text{Cr}}=7,19 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{Ni}}=8,97 \text{ г/см}^3$); для сталі 40X13 $\rho=7,68 \text{ г/см}^3$.

З таблиці 3.5 видно, що в розчині морської солі найменшу швидкість корозії мають покриття, а сталь 40X13 без обробки найбільше значення. Швидкість корозії нікель-хром покриття в 2,37 разів менша, ніж у зразка без покриття та у 2,25 разів менша, ніж для покриття хром-нікель. Для покриття Cr-Ni $v_{\text{кор}}$ менше у порівнянні зі сталевим зразком у 1,05 рази.

Поясненням зафіксованого факту може стати те, що сталь 40X13 з вмістом хрому до 13 мас. %, згідно літературних даних [25], може переходити у пасивний стан в багатьох середовищах, при цьому її швидкість корозії зменшується. Збільшення вмісту хрому підвищує спроможність сталі до пасивації. Враховуючи викладене, наявність на поверхні хромистої сталі хромового покриття приводить до збільшення корозійної стійкості поверхні зразка.

Зважаючи на швидкість корозії визначено групу корозійної стійкості – 4 або 5. Це, згідно даних таблиці 2.2, означає, що усі поверхні є стійкими.

Таблиця 3.6 – Результати випробування на корозійну стійкість сталі 40X13 у 9 % розчині оцтової кислоти

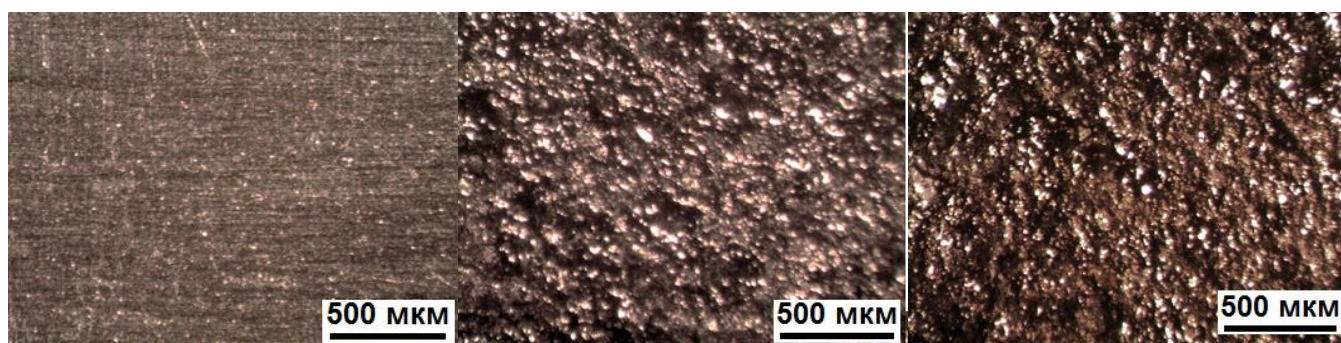
Матеріал	Маса зразка до випробування (m_0), г	Маса зразка після випробування (m_k), г	Втрата маси зразка (Δm), г	Коефіцієнт корозійної стійкості (K), $\text{г/м}^2\text{год.}$	Швидкість корозії ($v_{\text{кор}}$) мм/рік	Група корозійної стійкості
покриття Ni-Cr	4,0125	3,9740	0,0385	0,385	0,4691	6
покриття Cr-Ni	3,6610	3,6260	0,0350	0,350	0,3442	6
сталь 40X13	5,1170	5,0840	0,0330	0,330	0,3764	6

За результатами корозійної стійкості в оцтовій кислоті (табл.3.6) найменше значення $v_{\text{кор.}}$ має покриття Cr-Ni, найбільше – покриття Ni-Cr. Електроіскрове покриття, одержане при послідовності нанесення хром-нікель має в 1,09 разів меншу швидкість корозії, а ніж зразок сталі 40X13. Покриття нікель-хром в оцтовій кислоті має більшу швидкість корозії, аніж сталь 40X13 без покриття у 1,25 разів.

За даними швидкості корозії для зразків, які знаходилися в оцтовій кислоті, їх можна віднести до 6 групи корозійної стійкості. Тобто, вони є знижено стійкими згідно критеріїв таблиці 2.2.

Порівнявши дані, отримані після корозійних випробувань в обох середовищах, можна зробити висновок, що $v_{\text{кор.}}$ швидкість корозії для всіх зразків, які перебували в оцтовій кислоті, на порядок вища, ніж у морській воді. Значення швидкості корозії у середовищі оцту більше за значення у морській воді є такими: для зразка з покриттям Ni-Cr – у 19,55 разів; для зразка з покриттям Cr-Ni – у 6,37 разів; для сталі без покриття – у 6,6 разів.

Дослідження структур поверхні сталі 40X13 з легованими шарами і без них до і після корозійних випробувань наведені на рисунках 3.9– 3.11. Візуальний огляд під мікроскопом дозволяє зробити якісну оцінку структур поверхні за їх зміною після корозії.



а

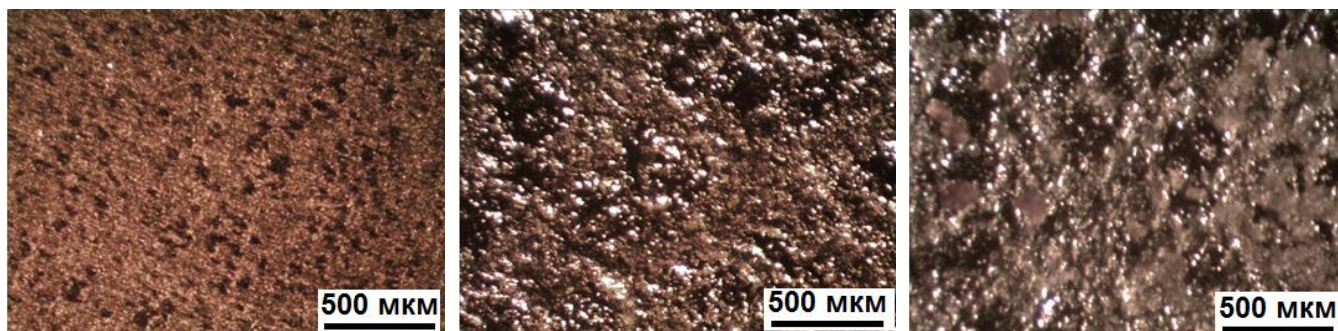
б

в

а – зразок без покриття, б – покриття Ni-Cr, в – покриття Cr-Ni

Рисунок 3.9 – Структура поверхні зразків сталі 40X13

Структура поверхні сталі 40X13 до проведення корозійних випробувань не має значних дефектів, наявні лише незначні подряпини після шліфувального паперу (рис.3.9 а). На структурі покриттів Ni-Cr та Cr-Ni спостерігаються ділянки з різною шорсткістю, що залежить від матеріалу, нанесеного під час ЕІЛ останнім. Видні ділянки різного контрасту, зумовлені топографією даних поверхонь (рис.3.9 б, в).



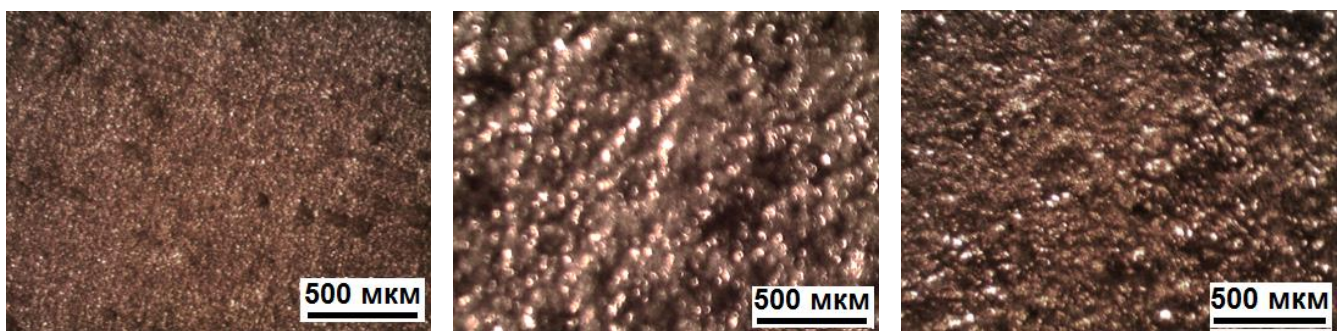
а

б

в

а – зразок без покриття, б – покриття Ni-Cr, в – покриття Cr-Ni

Рисунок 3.10 – Структура поверхні зразків сталі 40X13 після корозійного випробування в 3 % розчині морської солі



а

б

в

а – зразок без покриття, б – покриття Ni-Cr, в – покриття Cr-Ni

Рисунок 3.11 – Структура поверхні зразків сталі 40X13 після корозійного випробування в розчині 9% оцтової кислоти

Після випробувань на корозію в розчині морської солі на всіх зразках спостерігаються сліди корозії. На зразку сталі 40X13 без покриття помітна велика кількість дрібних темних точкових осередків, щільно розкиданих по поверхні (рис. 3.10 а). Зважаючи на втрату маси даного зразка (0,005 г), можна припустити, що корозія поширювалася не по поверхні, а в глибину зразка.

Мікроструктури поверхні зразків з покриттями мають затемнені плями неправильної форми розміром від 30 мкм до 180 мкм, які перемежуються між собою «сіткою волосовин» (рис. 3.10 б, в). При порівнянні темних ділянок обох покриттів можна побачити, що після ЕІЛ у послідовності Ni-Cr кількість таких затемнень є меншою, ніж для легованого шару Cr-Ni. Тобто покриття, на поверхні якого знаходиться хромовий шар, мало більшу пасивацію у морській воді і, як наслідок, найменші втрати маси – 0,002 г.

В середовищі оцтової кислоти у зразка без покриття спостерігається незначна кількість корозійних точкових несучільностей (рис. 3.11 а), але судячи з великої втрати маси у порівнянні зі сталлю після перебування у морській воді, має місце корозія вглиб зразка.

Покриття Ni-Cr в оцтовій кислоті кородує сильніше за інші зразки, про що свідчить мікроструктура з великими колоподібними темними плямами діаметром (100 – 380) мкм, найбільшими за площею (рис. 3.11 б).

На поверхні зразка з покриттям Cr-Ni хоча й кількість точкових осередків корозії велика, але усі темні ділянки за розміром не перевищують 75 мкм, до того ж вони є неглибокими (рис. 3.11 в).

Отже, найбільш корозійностійким серед усіх зразків є покриття Ni-Cr у розчині морської солі, а Cr-Ni-покриття – у 9 % оцтовій кислоті.

3.3 Висновки до розділу 3

Пошаровим нанесенням нікелю та хрому у різній послідовності на поверхню сталі 40X13 встановлена можливість створення електроіскрових покриттів товщиною 10 мкм — 30 мкм.

Гравіметричним аналізом виявлено, що найбільший приріст маси катоду спостерігається на першій стадії легування хромом. Кінетична крива знаходиться в області додатних значень, що дозволяє стверджувати про ефективне формування легованих шарів без крихкого руйнування.

Виявлено, що послідовність нанесення матеріалів анодів не впливає на поверхневу мікротвердість, яка у межах покриття знаходиться в інтервалі від (3,1 - 4,7) ГПа. Зростання значень мікротвердості пов'язано з утворенням твердих розчинів на основі матеріалів легувальних електродів та основи.

Найкращу стійкість до зношування у порівнянні зі сталі 40X13 без обробки показало покриття, одержане за схемою Cr-Ni - більше у 1,69 рази.

Випробування на корозію показали, що найменшу швидкість корозії (0,024 мм/рік) має зразок сталі 40X13 з покриттям Ni-Cr у 3%-му розчині морської солі.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Мета розділу полягає в проведенні маркетингового аналізу стартап проекту для визначення можливостей його подальшого ринкового впровадження та визначення напрямків реалізації цього впровадження.

4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідея проекту направлена на створення нового покриття сталі 40X13, що за своїми характеристиками буде мати кращі властивості (табл.4.1 та 4.2).

Потенційною технологією даного стартап-проекту є впровадження технології обробки сталі 40X13 методом ЕІЛ за схемою Ni-Cr.

Дослідження даної технології перебувають на стадії активного розвитку, тому неможливо провести повну оцінку ринкової спроможності даної технології.

Таблиця 4.1 - опис ідеї стартап-проекту розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Нова технологія создания , що покращує фізико-механічні властивості поверхні сталі 40X13	1. Харчова промисловість	Інструменти, леза що довго не потребують корегуванню в агресивних середовищах
	2. Машинобудівна промисловість	Деталі, які довше прослужать в умовах тертя та зношування
	3. Поліграфія	Більш жароміцні вироби, що здатні витримувати агресивні середовища

Аналіз даних представлених у табл.4.1 дав повне уявлення про зміст ідеї стартапу та можливі базового потенціалу ринку, в межах яких слід шукати групи потенційних клієнтів.

Доцільно буде порівняти технологію обробки поверхні сталі 40X13 з конкурентами на прикладі, кінцевого продукту, обробленої ріжучої кромки леза поліграфічного обладнання.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробки модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/ концепції конкурентів		
		Леза поліграфічного обладнання		
		Мій проект	Конкурент 1 RavneKnives	Конкурент 2 Класс-инжиниринг
1	Собівартість виробу	Дешева (S)	Висока (W)	Середня (N)
2	Екологічність	Висока(S)	Середня (N)	Середня (N)
3	Зносостійкість	Висока (S)	Середня (N)	Низька (W)
4	Мікротвердість	S	W	W

*W(слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона).

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей попереднього товару є підґрунтям для формування розуміння його конкуренто спроможності. В таблиці 4.3 наведено дані аудиту технології створення покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ анодами Ni, Cr.

Аналіз таблиці 4.3 свідчить про те, що зазначену ідею технологічно можливо реалізувати на виробництві.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність впровадження технології створення зміцнюючого покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Нова технологія обробки покриття, що покращує фізико-механічні властивості поверхні сталі 40X13	ЕІЛ анодами Cr, Ni За схемами <ul style="list-style-type: none"> • Cr-Ni • Ni-Cr 	Технологія наявна, можлива доробка	Доступні

Аналіз таблиці 4.2 демонструє низьку собівартість вартість даної технології та її екологічність.

Попередня оцінка даного стартап-проекту на основі стану ринку та визначених потенційних областей застосування занесена до табл.4.4.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців (на території України)	Класс-Инжиниринг RaveKnives
2	Загальний обсяг продаж, на 2018 рік.	359.8 млн. євро (RaveKnives)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності (в галузі або на ринку)	>1

Аналіз даних таблиці 4.4 демонструє, що ситуація на ринку має всі підстави для можливості впровадження модифікованого покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ. Також слід зазначити, що вітчизняні представники даного сегменту ринку відсутні.

Характеристика потенціальних клієнтів приведена в табл.4.5.

Таблиця 4.5 –Визначено характеристики потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення експлуатаційного строку деталі	Класс-Инжиниринг, StarMix RaveKnives, Spyderco, SOG, Wenger, Smith&Wesson...	Технічні стандарти та обсяги виробництва	Вартість кінцевого продукту, час експлуатації, надійність
2	Підвищення ріжучих характеристик			

Після визначення потенційних груп клієнтів проведено аналіз ринкового середовища (табл.4.6 та 4.7). Для цього розроблено таблиці, що відображають ринкове впровадження проекту та фактори, які йому перешкоджають.

Таблиця 4.6 – Фактори загрози стартап-проекту по розробці модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політично-економічної ситуації	Зменшення обсягів поставок та попиту	Перенаправлення експортних потужностей на інші напрямки, розробка існуючих ринків

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Зменшення собівартості технології	Зменшення матеріально-технічних затрат	Збільшення обсягів виробництва та залучення нових клієнтів
2	Збільшення зносостійкості деталей	Застосування іншого виду обробки деталі	Економія коштів та більш екологічна продукція з точки зору збереження навколишнього середовища
3	Підвищення екологічності	Зниження податку за не екологічність	

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей розроблений на основі аналізу факторів загрози та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів та на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку і мають певну імовірність здійснення (табл.4.8).

Таблиця 4.8 – SWOT-аналіз стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr

Сильні сторони: Можливість самостійно обробити будь-яку деталь, зробивши її більш привабливою для замовників: Збільшивши її строк експлуатації; Збільшивши економічність та екологічність .	Слабкі сторони: Необхідно додаткове інвестування для створення прототипу пристрою для обробки деталей у промисловому масштабі, а також час для налагодження виробництва, що може короткостроково негативно позначитись на прибутку компанії.
Можливості: Приймати участь у проектах, що фінансуються компаніями для наукових розробок.	Загрози: Нестабільність політично-економічної ситуації, що негативно впливає на обсяг коштів для інвестування

Дослідження даної технології виготовлення модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ ще триває, тому неможливо дати вичерпну інформацію стосовно ринкової спроможності та створити маркетингову модель товару. Магістерська робота була спрямована на дослідження фізико-механічних властивостей покриттів сформованих на поверхні сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni, Cr. Створення модифікованих покриттів методом ЕІЛ анодами Ni, Cr є перспективним методом для підвищення зносостійкості деталі на сталі 40X13.

4.2 Висновки до розділу 4

Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Ni та Cr, засвідчив, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі 40X13 є дуже перспективним.

Визначено, що можливість впровадження даної технології, опираючись на огляд потенційних груп клієнтів, незначна. Однак позитивним моментом є те, що головні конкуренти є потенційними клієнтами, що значно підвищує імовірність співпраці з компаніями.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета даного розділу – аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що можуть призвести до ураження організму та умов, котрі спричиняють травмуванню під час проведення електроіскрового легування сталі 40X13 анодами Ni та Cr.

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

Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники: мікроклімат; склад повітря робочої зони; шум; вібрації; освітлення; електричний струм; випромінювання від комп'ютера.

5.1 Правові та організаційні основи охорони праці на підприємстві

Служба охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського (в якому була проведена робота) підпорядковується ректору М.З. Згуровському. Посаду начальника відділу охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського займає Е.Г. Луцик. Відповідальною особою, що гарантує дотримання вимог охорони праці на інженерно-фізичному факультеті є П.І. Лобода, на кафедрі фізики металів (5 поверх навчального корпусу № 9) – Є.В. Іващенко.

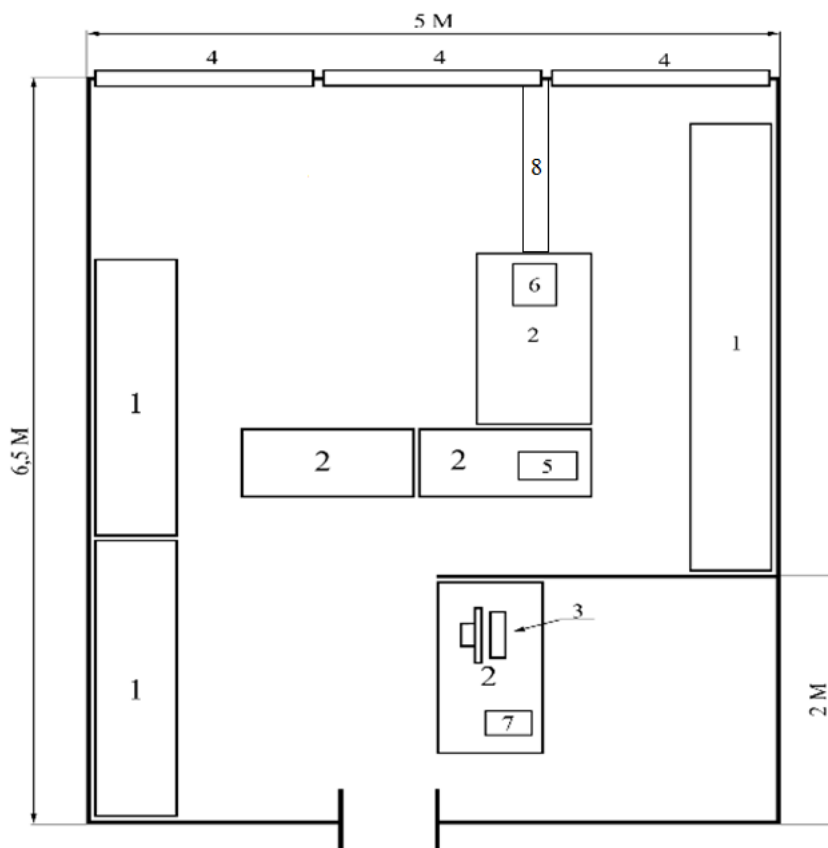
5.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

5.2.1 Мікроклімат

Для нормальної працездатності людини суттєве значення має чистота повітря, необхідний хімічний склад, оптимальність його (повітря) температури, вологості та швидкості руху. Тому аналіз мікроклімату у лабораторіях має важливе значення. Дослідження мікроклімату звертають увагу на такі показники:

температура, рухливість повітря у робочій зоні, вологість повітря. Отримані дані співставляють з встановленими нормами.

Магістерська робота виконана в лабораторії № 034, 0 поверху, навчального корпусу № 9 кафедри фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Схематичне зображення лабораторії із розташуванням всіх її елементів представлено на рис. 5.1.



1 – шафа; 2 – стіл; 3 – обчислювальна техніка; 4 – вікна; 5 – ПМТ-3М; 6 – «Елітрон – 26А»; 7 – МІМ-8М; 8 – витяжна шафа

Рисунок 5.1 – Схема лабораторного приміщення в якому виконувалась дипломна робота

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт Іб легка (роботи, які виконуються сидячі, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деякими фізичними напруженнями) за такої категорії робіт енерговитрати складають до 150 Ккал/год [31].

Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови

Період року	Категорія робіт	Температура		Відносна вологість, %		Швидкість руху пов., м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	16	21-23	20-24	60-40	<75	0,1	0,1-0,3
Теплий		22-24	21-28	60-40	<65	0,2	0,1-0,3

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

На основі написаного робимо висновок, що мікроклімат в лабораторіях не відповідає наведеним у табл. 5.1 оптимальним умовам.

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

- застосувати електрифіковані засоби опалення;
- утеплити приміщення.

5.2.2 Освітленість

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

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

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

Для місцевого штучного освітлення використовують лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці на кожен з лабораторій) [30].

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

5.2.3 Шум

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

Шум може викликати різні загально біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади та механічні ушкодження. Під час роботи в шумних умовах продуктивність ручної роботи може знизитись на 40 %, а при розрахунках на 50 % [28]. При тривалій роботі в шумних умовах перш за все уражається нервова та серцево-судинна системи та органи дихання.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-86. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037-99 [32].

У даному випадку наявний імпульсний шум оскільки робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму

використовували засоби індивідуального захисту протишумові вкладиші, які встромляються у слухові проходи.

5.2.4 Електробезпека

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

Помилкове включення електричних приладів при проведенні ремонтних робіт;

пошкодження ізоляції неструмопровідних частин електроприладів;
через відсутність засобів захисту струмопровідних частин.

Безвідповідальне ставлення до електробезпеки має небезпечні наслідки не тільки для здоров'я, а й для життя людини. Імовірність смертельного враження струмом вище, в порівнянні з іншими причинами травматизму [32].

На дію електричної поразки впливає ряд факторів:

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

Виробниче середовище, відноситься до приміщень без підвищеної електричної небезпеки.

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

До напруги 42 В найбільш небезпечний перемінний струм, а більше 42 В вплив однаковий як постійного так і перемінного струму.

Найбільш небезпечна частота в (50-60) Гц.

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

5.2.5 Запиленість та загазованість

В процесі приготування шліфів на механічному верстаті утворюється неорганічний пил з сполукою кремнію та оксиди хрому Cr_2O_3 при поліруванні пастою “ДОГ” у мокрому середовищі .ГОСТ 12.1.005-88 передбачає гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони: пил з діоксидом кремнію до 4 % – ГДК = 4 мг/м³, клас 3; для окисла хрому ГДК = 1 мг/м³, клас 2. В таблицю 5.2 [33] занесені виміряні та допустимі значення концентрації речовин, що виділяються при приготуванні шліфів.

Таблиця 5.2 – Концентрація речовин при приготуванні шліфів

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

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

З таблиці 5.4 видно, що фактичні значення концентрації речовини для пилу з діоксидом кремнію до 4 % та окислу хрому перевищують гранично допустимі концентрації. Враховуючи коротку тривалість шліфування та поліровки, для забезпечення безпечної роботи достатньо використовувати засоби індивідуального захисту – ШБ1 «Лепесток 5». Для травників допустимі норми не перевищуються, тому ніяких засобів захисту використовувати не потрібно.

5.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

5.3.1 Розрахунок вентиляції

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку [1м]:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 \quad (5.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, m/s .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою [1м].

Значення V_0 розраховується на підставі забезпечення заданої швидкості повітря V_x (0,5 m/s) у зоні обробки на відстані x (в метрах) від центра всмоктуючого отвору [1м]:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (x/d)^2 \quad (5.2)$$

де d – діаметр отвору, m .

На рис. 5.2 наведено принципову схему місцевої вентиляції необхідної для проведення ЕІЛ.



Рисунок 5.2 – Схема місцевої вентиляції

У результаті розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі V_0 має становити 22 м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією L_m – 4320 м³/год.

5.3.2 Пожежна безпека

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) - це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених в них виробництв [32].

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д) [35].

Можна зробити висновок, що приміщення лабораторії № 036-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «Г» (в лабораторії є негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалімі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо) [35]. Найбільш пожежонебезпечним місцем в лабораторії є місце де прокладена електропроводка. Загоряння в приміщенні може спричинитися через коротке замикання в електропроводці [38]. План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рис. 5.3.

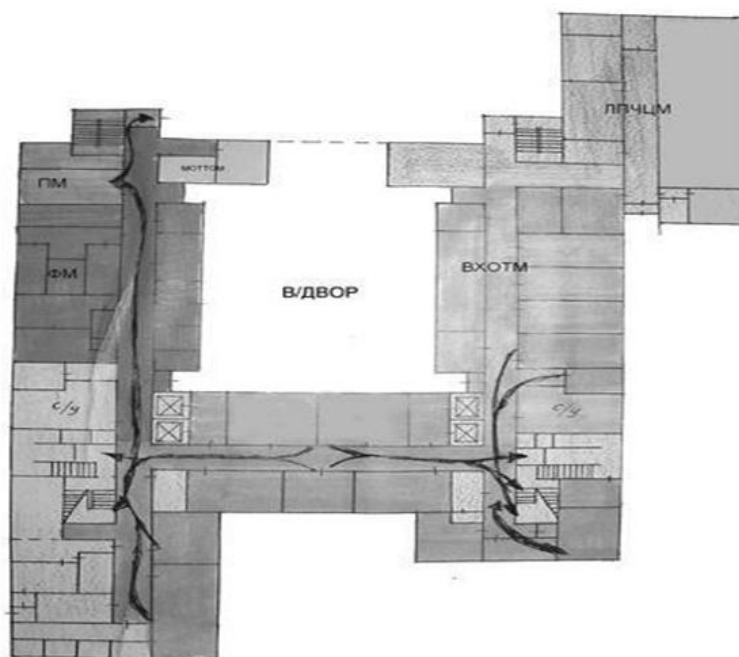


Рисунок 5.3 – План евакуації з лабораторії 036-9

Із засобів пожежогасіння у лабораторії наявні вогнегасники ОУБ-2. Засобами виявлення та оповіщення про пожежу є автоматичні датчики-сигналізатори типу ДТП. Засобом комунікації та оповіщення співробітників про пожежну ситуацію служить внутрішньо-службовий зв'язок. На випадок пожежі існує план евакуації працівників з лабораторії № 036-9.

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки [33, 36]. З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [29]. Під час аналізу небезпеки підприємства (об'єкта) потрібно визначити всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій має виконуватись на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії.

5.4.1 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [31] приміщення, у яких виконуються роботи з електродугової металізації, газополуменевого напилювання, плазмового напилювання, детонаційно-газового напилювання та газодинамічного напилювання, за вимогами вибухопожежної безпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали в гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона II-Па, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за БЕМЗ (безпечний експериментальний зазор між фланцями оболонки, мм) – ПА (> 0,9 мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) $V > 450$ °С. Ступінь вогнестійкості будівлі – І (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

Клас пожежі – Е (пов'язаний з аваріями електроустановок) наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Клас пожежі, пов'язаний з аваріями електроустановок

	Клас пожежі				
	А	В	С	Д	Е
1	2	3	4	5	6
Характеристика горючого середовища	Тверді горючі речовини (дерево, папір, текстиль тощо)	ГР та плавильні матеріали (мазут, гас, спирти, лаки, синтетичні матеріали)	ГГ (H ₂ , C ₂ H ₂ , інші вуглеводні тощо)	Метали та їх сплави (К, Na, Mg)	Електроустановки
Вогнегасні засоби	Усі види (передусім – H ₂ O)	Розпилена H ₂ O, піни, галоїдовуглеводні (хладони), порошки	Газові сполуки: інертні – N ₂ , CO ₂ , галоїдовуглеводні, порошки (H ₂ O – для охолодження)	Порошки (спокійна подача на поверхню горіння)	CO ₂ , порошки, галоїдовуглеводні

Пожежна безпека (ГОСТ 12.1.004-91) забезпечується:

запобігання спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;

запобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих та вибухонебезпечних речовин;

застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-І, ДПД і др.);

використанням вогнегасників (клас пожежі В): ОХП-10, ОХВП-10, ОВП - 7, ОХ-7, ОП-10А; для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП-10А (вибрати тип і кількість відповідно до НАПБ Б.03.002-2007).

При організації технологічного процесу дотримуються всіх вимог електростатичної іскробезпеки.

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втравлювання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби.

Передбачено пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі (описати конкретно).

Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності. На дільницях виробничого приміщення, де застосовується електродугова металізація, газополуменеве напилювання, плазмове напилювання, детонаційно-газове напилювання та газодинамічне напилювання, передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал.

Для автоматичного виявлення пожеж у виробничому приміщенні, в якому застосовується газотермічне напилювання, передбачаємо наявність датчиків, які своєчасно сповіщають про виниклу пожежу і дають команду на вмикання автоматичної системи гасіння пожежі.

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці. У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання. У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

5.5 Висновки до розділу 5

1. В даній роботі дослідження, які проводяться згідно плану, є екологічно чистими і не є джерелом забруднення навколишнього середовища.
2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів, передбачає умови при яких може виникнути небезпека ураження організму.

3. Мікrokлімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість створення зміцнених (до 3,1 – 4,7 ГПа) покриттів товщиною до 30 мкм шляхом електроіскрового легування сталі 40X13 за схемами Ni-Cr та Cr-Ni. Це пояснюється утворенням нерівноважних твердих розчинів необмеженої та обмеженої розчинності на основі матеріалів анодів та заліза і підтверджується зростанням кривої сумарного приросту маси зразка.

2. Показано, що стійкість до зношування електроіскрових хромо-нікелевих покриттів за 400 хв. випробувань в умовах сухого тертя-ковзання зростає у (1,62 – 1,69) разів у порівнянні зі сталю 40X13 без покриття.

3. Встановлено, що найбільш корозійностійкими у 3 %-му водному розчині морської солі є покриття Ni-Cr ($v_{\text{кор.}} = 0,024$ мм/рік), а у 9%-вій оцтовий кислоті – покриття Cr-Ni ($v_{\text{кор.}} = 0,3442$ мм/рік), згідно своєї здатності до пасивування.

4. Виявлено, що послідовність нанесення нікелю та хрому в процесі електроіскрового легування сталі 40X13 впливає на кінетику формування, хімічний склад за глибиною покриттів та їх корозійну стійкість у агресивних середовищах і не здійснює впливу на структуру, фазовий склад, поверхневу мікротвердість та стійкість до зношування.

5. Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Розробка модифікованого покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ анодами Ni та Cr», засвідчив, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених з даного матеріалу є дуже перспективним.

6. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

CONCLUSIONS

1. The possibility of creating hardened (up to 3.1-4.7 GPa) coatings up to 30 microns thick these at electric-spark alloying of 40X13 steel by the Ni-Cr and Cr-Ni schemes was established. This is due to the formation of non-equilibrium solid solutions of unbounded and limited solubility on the basis of the anodes materials and iron and is confirmed by the growth of the curve of the total of mass increment of the sample.

2. It is shown that wear resistance of Ni-Cr electric-spark coatings for 400 min. tests in conditions of dry friction-slip increases in (1,62 - 1,69) times compared with 40X13 steel without coating.

3. It was found that the most corrosion-resistant in the 3% aqueous solution of sea salt is the Ni-Cr coating ($v_{\text{cor.}} = 0.024$ mm / year), and in 9% acetic acid - a Cr-Ni coating ($v_{\text{cor.}} = 0,3442$ mm / year), according to its ability to passivate.

4. It was found that the sequence of nickel and chromium application in the process of electric-spark alloying of 40X13 steel affects the kinetics of formation, the chemical composition of the coatings depth and their corrosion resistance in aggressive environments and does not affect the structure, phase composition, surface microhardness and wear resistance.

5. Analysis of the market capacity of the startup project "Development of modified coating on 40X13 steel at ESA method by Ni- and Cr- anodes, has shown that the application of this technology for the processing of any parts made of this material is very promising.

6. Microclimate, the organization of the workplace, lighting in the laboratory meet the requirements of sanitary norms. And the noise, vibration and radiation levels do not exceed the permissible limits.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика)/Ф.Х. Бурумкулов, П.П. Лезин, П.В. Сенин, В.И. Иванов, С.А. Величко, П.А. Ионов: - Саранск, Изд-во "Красный Октябрь", 2003 - 504 с. 2.
2. Кипарисов С.С. Карбид титана: получение, свойства, применение./ С.С. Кипарисов, Ю.В. Левинский, А.П. Петров. М.: Metallurgy 1987. 216с. 3.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вивчення корозійної стійкості конструкційної сталі» з дисципліни «Сплави з особливими властивостями» / укладачі: О. П. Гапонова, Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 38с.
4. Коротаев Д.Н. Технологические возможности формирования износостойких наноструктур электроискровым легированием, монография. – Омск : СибАДИ, 2009. – 255 с.
5. Гитлевич А.Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, В.В. Парканский. – Кишинев: изд. Штиинца, 1985. – 197 с.
6. Верхотуров А.Д. Электродные материалы для электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
7. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов/ Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – М.: изд. АН МССР, 1959. – 183 с.
8. Hillert M. A Thermodynamic Assessment of the Fe-Cr-Ni-C System / M. Hillert, C. Qiu // Metallurg. Trans. A. - 1991. - Vol. 22 A, № 9. - P. 2187-2198.
9. Hillert M. A Reassessment of the Cr—Fe—Ni System / M. Hillert, C. Qiu // Metallurg. Trans. A. - 1990. - Vol. 21A.-P. 1673-1680.
10. Raghavan V. The Cr-Fe-N-Ni System (Chromium Iron — Nitrogen — Nickel) / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria. - 1997. - Vol. 18, № 2. - P. 158-172.

11. Люпис К. Химическая термодинамика материалов: пер. с англ. /К. Люпис; под ред. Н.А. Ватолина, А.Я. Стомахина. - М.: Металлургия, 1989. - 503 с.
12. Морачевский А.Г. Термодинамика расплавленных металлических и солевых систем / А.Г. Морачевский. — М.: Металлургия, 1987. - 240 с
13. Базыль Е.А. Изменение свойств титанового сплава ВТ-23, вызванное имплантацией ионов железа и циркония и последующим воздействием низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком / Е.А. Базыль, А.Д. Погребняк, Б.П. Гриценко / Письма в ЖТФ. – Т.25, вып.15, 1999 – С.66 – 73.
14. Коваленко В.С. Лазерное и электро эрозионное упрочнение материалов / В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева. – М.: Наука, 1986. – 276 с.
15. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. №3. – С.12 – 16.
16. Самсонов Г.В. Электроискровое легирование металлических по / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – Киев: изд. «Наукова думка», 1976. – 217 с.
17. Верхотуров А.Д. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании формирование вторичной структуры на аноде / А.Д. Верхотуров, И.А.Подчерняева,Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химияобработкиматериалов. – 1986. –№4. – С.65 – 68.
18. Лубан Р.Б. О возможном механизме переноса материала анода на катод при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер // ЭОМ. 1991. – №8. – С.13 – 15
19. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей/ Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. –№3. – С.12 – 16.
20. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя метал лов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука,1995. – 323 с.

21. Верхотуров А.Д. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноде / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов. – 1986. – №4. – С.65 – 68.

22. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем / подред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996 –2000. – Т. 1–3.

23. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1976. – 45 с.

24. Тарельник В.Б. Способ повышения качества стальных деталей цементированных электроэрозионным легированием/ В.Б.Тарелник, В.С. Марциновский, М.П.Братушак // Компрессорное и энергитическое машиностроение

25. Конспект лекцій з дисципліни «Захист обладнання від корозії» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / Укладач. В.О.Маховський. - Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 44 с.

26. Ледков Е.А. Влияние ультразвуковой обработки на микрорельеф и свойства покрытий, получаемых методом электроискрового легирования / Е.А. Ледков, С.Н. Химухин, В.М. Давыдов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – №5. – С.72 – 78.

27. Radek N. LaserTreatmentof Cu- Mo Electro-Spark DepositedCoatings / N.Radek, K. Bartkowiak // PhysicsProcedia. – 2011. – V.12. – P.499 – 505.

28. Модификации структуры и свойствэвтектического силуминаэлектронно-ионно-плазменнойо бработкой / А.П. Ласковнев, Ю.Ф. Иванов, Е.А. Петрикова [и др.]; под ред. А.П. Ласковнева. – Минск: Беларус. наука, 2013. – 287с.

29. Марки стали и сплавы – Режим доступа:http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/St3sp– Дата доступа: 12.05.2017 – Марки стали и сплавы.

30. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене / К. Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Запарний [та ін.] ; Під ред. К.Н. Ткачука, М.О. Халімовського. – Київ : Основа, 2006. – С. 448. –ISBN: 966-699-156-X

31. 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. Запарний; За ред. Є.П.Желібо. – Київ: «Каравела»; 2001. – 320 с.

32. Закон України "Про охорону праці", затверджений Постановою Верховної Ради України від 21.11.2002 р. № 229-IV.

33. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник. – 5-те вид./ М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський // К.: Каравела, 2011. – 384 с.

34. Дсан ПН 3.32.007–98 – Будівельні норми і правила.

35. ДСН 3.3.6.042–99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

36. ГОСТ 12.1.005-88 – Общесанитарно-гигиенические требования к воздуху рабочие йзоны.

37. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Запарний, [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

38. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

39. Серіков Я.О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти / Я.О. Серіков // Харків, ХНАМГ, 2007. - 227с.

40. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення.

41. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / В.М. Москальова // Рівне: НУВГП, 2009.

42. 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.

43. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

44. ПУЕ-2017 – Правила улаштування електроустановок.