

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__»_____ 2024 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

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

**на тему: «Формування зміцнених покриттів на сплаві ВТ-6 послідовним
електроіскровим легуванням кобальтом, ніобієм, вуглецем»**

Виконав:

Здобувач ВО IV курсу, групи ФМ-01

Соболев Нікіта Вячеславович

Керівник:

доцент, к.т.н. Лобачова Галина Геннадіївна

Консультант з розділу охорони праці:

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

Консультант з економічно-організаційного розділу

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

Консультант з питань нормконтролю:

ст.викл. Шаповалова Н.А.

Рецензент:

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

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

Здобувач _____

Київ – 2024 рік

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

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу В О

Соболевського Нікіти Вячеславович

1. Тема роботи «Формування зміцнених покриттів на сплаві ВТ-6 послідовним електроіскровим легуванням кобальтом, ніобієм, вуглецем», керівник роботи доцент, к.т.н. Лобачова Галина Геннадіївна, затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. № 2210-с

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: літературні дані, результати переддипломної практики, результати особистих експериментів.

4. Зміст роботи: вступ; літературний огляд; матеріали і методика досліджень; експериментальна частина; економічна частина; охорона праці; висновки; список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 1 презентація (12 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи*

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання	20.05.2024	
2	Огляд літератури	09.05.2024	
3	Освоєння методик дослідження	16.05.2024	
4	Виконання експериментальних досліджень	23.05.2024	
5	Отримання результатів, їх аналіз	30.05.2024	
6	Оформлення дипломної роботи	06.06.2024	
7	Попередній захист	07.06.2024	
8	Захист на засідання ЕК	.06.2024	

Студент

Нікіта СОБОЛЄВ

Керівник

Галина ЛОБАЧОВА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 61 сторінок, 8 таблиці, 15 рисунків, 48 літературних джерел.

ВУГЛЕЦЬ, ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), КОБАЛЬТ, ЛЕГОВАНІЙ ШАР, НІОБІЙ, ПОКРИТТЯ, СПЛАВ ВТ-6

Об'єкт дослідження: леговані шари на сплаві ВТ-6 після послідовного електроіскрового легування кобальтом, ніобієм, вуглецем.

Предмет дослідження: закономірності формування покриттів на сплаві ВТ-6 в процесі ЕІЛ у послідовності Co- C- Nb та Nb- C- Co.

Мета роботи: вивчити кінетику формування, мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневих шарів сплаву ВТ-6 після електроіскрового легування у послідовності Co-C-Nb та Nb-C-Co.

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

Встановлено, що послідовним електроіскровим легуванням сплаву ВТ-6 Co-, C- та Nb-анодами існує можливість отримати покриття товщиною (30 – 35) мкм з підвищеною до (19,1 – 17) ГПа мікротвердістю.

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

ABSTRACT

Diploma thesis report: 61 pages, 8 tables, 15 figures, 48 literature sources.

CARBON, ELECTRIC-SPARK ALLOYING (ESA), COBALT, DOPED LAYER, NIOBIUM, COATING, VT-6 ALLOY

Research object: doped layers on the VT-6 alloy after sequential electric-spark alloying by cobalt, niobium and carbon.

The subject of the study: regularities of the coatings formation on the VT-6 alloy in the ESA process in the sequence Co-C-Nb and Nb-C-Co.

The purpose of the work: to study the formation kinetics, microstructure, phase composition and microhardness of the VT-6 alloy surface layers after electric-spark alloying in the sequence Co-C-Nb and Nb-C-Co.

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

It has been established that by successive electrospark alloying of the VT-6 alloy by Co-, C- and Nb-anodes, it is possible to obtain a coatings with a thickness of (30 – 35) microns with increased microhardness to (19.1 – 17) GPa.

Practical application: the obtained results and determined characteristics of the modified layer during electric-spark alloying can be used to extend the service life of machine parts and other mechanisms.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Основи методу електроіскрового легування	10
1.2 Формування зміненого поверхневого шару під час ЕІЛ	12
1.3 Створення покриттів на титані та його сплавах методом ЕІЛ	15
Висновки до розділу 1	17
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1 Матеріали дослідження	18
2.2 Методика експерименту (ЕІЛ)	19
2.3 Гравіметричний аналіз.....	20
2.4 МікродюрOMETричний аналіз	21
2.5 Мікроструктурний аналіз	23
2.6 Рентгеноструктурний аналіз.....	24
Висновки до розділу 2	25
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	26
3.1 Формування легованих шарів на сплаві ВТ-6 при електроіскровому легуванні у послідовності Co-C-Nb та Nb-C-Co	26
Висновки до розділу 3	30
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	32
4.1 Науково-технічна актуальність НДР	32
4.2 Мета і завдання НДР.....	33
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	34
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу.....	34
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	35
4.3.3 Визначення вартості матеріалів для виконання НДР.....	36
4.3.4 Інші прямі невраховані витрати	36
4.3.5 Розрахунок накладних витрат	36
4.3.6 Розробка планової калькуляції собівартості НДР	37
4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності	37

Висновки до розділу 4	40
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	41
5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні	42
5.2 Аналіз повітря	44
5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку	45
5.4 Аналіз освітлення.....	46
5.5 Електробезпека	47
5.6 Пожежна безпека	48
5.7 Алгоритм дій у випадку "Повітряної тривоги" за сигналом цивільного захисту.....	50
Висновок до розділу 5	53
ВИСНОВКИ.....	54
CONCLUSION	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕІЛ – електроіскрове легування

ЛШ – легований шар

ЗПШ – змінений поверхневий шар

ОКР – область когерентного розсіювання

ВСТУП

Покращення експлуатаційних характеристик матеріалів, таких як міцність, зносо-, жаро- та корозійна стійкість є важливим завданням для багатьох галузей промисловості. Отже, розробка нових матеріалів та вдосконалення існуючих методів їхньої обробки залишаються актуальними у сучасному матеріалознавстві.

Найчастіше високі вимоги висуваються саме до робочих поверхонь деталей. У зв'язку з цим, широкого розповсюдження набули покриття.

На основі аналізу експериментальних даних встановлено, що покриття з одночасно декількома компонентами в своєму складі, мають покращені властивості у порівнянні з однокомпонентними.

Ефективним та перспективним методом створення покриттів є електроіскрове легування. Такий метод поверхневої обробки застосовують для зміцнення та відновлення зношених поверхонь тертя деталей машин та різального інструменту.

В даній роботі зроблена спроба створити багатокомпонентне покриття на сплаві ВТ-6 послідовним електроіскровим легуванням кобальтом, ніобієм та вуглецем. Передбачається, що зміцнення поверхневого шару сплаву буде здійснюватися за рахунок утворення карбідних та інтерметалідних фаз, що й приведе до покращення його фізико-механічних властивостей

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Основи методу електроіскрового легування

Електроіскрове легування (ЕІЛ), вперше запропоноване вченими Б.Г. Лазаренком та Н.І. Лазаренко, базується на явищі електричної ерозії, коли імпульси струму високої частоти викликають розряд між електродами, що приводить до перенесення матеріалу з аноду на катод [1, 2]. Відкриття цього процесу стало можливим завдяки дослідженням у галузі електричних розрядів у рідинах та газах, які проводились з початку XX століття [3 – 5]

Перевагами методу ЕІЛ є нанесення будь-яких струмопровідних матеріалів на металеву основу; висока міцність зчеплення нанесеного покриття з основою; низька енергоємність; економічність та екологічність процесу; простота здійснення технологічних операцій; малогабаритне обладнання, що легко транспортується [6].

Пренесення матеріалу в процесі ЕІЛ включає кілька етапів [7]:

- електрична ерозія (за високих температур, створених електричними розрядами, відбувається плавлення та випаровування матеріалу аноду; ерозія є основним джерелом частинок, що переносяться до катоду);
- масоперенесення (розплавлені частинки матеріалу аноду переносяться крізь розрядний проміжок до катоду під дією електричного поля та градієнта температури; цей процес включає як конвекційне, так і дифузійне масоперенесення);
- осадження і кристалізація (частинки розплавленого матеріалу осідають на поверхні катоду, де вони швидко охолоджуються і кристалізуються утворюючи тверде покриття).

Параметри імпульсного розряду мають вирішальне значення для якості та властивостей покриття, утвореного в процесі ЕІЛ [7]. До них належать: частота імпульсів, тривалість імпульсів, напруга і струм, склад робочого середовища.

Для ЕІЛ важливо правильно вибирати матеріали аноду та катоду, оскільки це безпосередньо впливає на якість і властивості утворюваного покриття.

Основні властивості які слід враховувати при виборі матеріалів включають [8]:

- електропровідність (матеріали з високою електропровідністю забезпечують кращий перехід електричного струму і стабільніші розрядні процеси;

це особливо важливо для анодів, де висока електропровідність допомагає уникнути перегріву);

- теплопровідність (висока теплопровідність матеріалу забезпечує швидке відведення тепла, зменшуючи ризик перегріву та деформації; це важливо як для анодів, так і для катодів);
- механічна міцність (матеріали з високою механічною міцністю здатні витримувати високі температури і механічні навантаження під час процесу ЕІЛ);
- хімічна стійкість (матеріали повинні бути стійкими до окиснення і інших хімічних реакцій, які можуть відбуватися під час розрядів);
- схильність до ерозії (вибір матеріалів з низькою ерозійністю стійкістю для анодів може призвести до швидкого зношування електродів, тоді як для катодів важлива висока стійкість до ерозії).

Вибір між використанням сплавів і чистих металів для анодів і катодів у процесі ЕІЛ залежить від конкретних вимог до покриття та умов подальшої експлуатації готового виробу. Порівняння цих матеріалів дозволяє визначити оптимальний варіант для кожного конкретного випадку [7].

Чисті метали часто використовуються, коли потрібні специфічні властивості покриття, такі як висока твердість або корозійна стійкість. Однак вони можуть бути дорогими і важкими в обробці.

Зокрема, кобальт утворює тверді та зносостійкі покриття з високою корозійною стійкістю; часто використовується для покриттів, що працюють в агресивних середовищах або при високих температурах.

Ніобій утворює покриття з високою температурною і корозійною стійкістю; часто використовується в аерокосмічній промисловості та для захисту поверхонь, що працюють в умовах високих температур.

Вуглець утворює тверді карбідні покриття, які мають високу зносостійкість; використовується для покращення твердості та зносостійкості поверхонь.

Сплави зазвичай мають більш збалансовані властивості, поєднуючи переваги кількох компонентів. Наприклад, сплави кобальту можуть бути менш крихкими, ніж чистий кобальт, а сплави титану можуть мати покращену корозійну стійкість.

У процесі ЕІЛ часто використовуються сплави, оскільки вони забезпечують кращу комбінацію властивостей, таких як міцність, зносостійкість і корозійна

стійкість. Сплави також дозволяють легше регулювати властивості покриття шляхом зміни складу і режимів обробки [7].

В літературі також зустрічаються дані про пошарове нанесення декількох чистих металів в межах одного технологічного процесу ЕІЛ [9 – 17].

Автори таких робіт стверджують, що такий вид обробки складає конкуренцію компактованим анодам, для розробки складу яких потрібні витрати часу; до того ж їхня тугоплавкість перешкоджає ефективному формуванню легованого шару при низьковольтних електричних розрядах.

ЕІЛ широко застосовується у різних галузях промисловості завдяки своїм унікальним можливостям:

- машинобудування (для зміцнення та відновлення робочих поверхонь деталей машин та різального інструменту);
- авіабудування (для зміцнення та відновлення деталей авіаційних двигунів, підвищення зносостійкості та корозійної стійкості поверхонь);
- приладобудування (для покриття електричних контактів);
- автомобільна промисловість (для обробки деталей двигунів, коробок передач та інших компонентів, що працюють в умовах високих навантажень);
- енергетика (для зміцнення поверхонь лопаток турбін, валів та інших деталей, що працюють в умовах високих температур та агресивних середовищ);
- медична техніка (створення біосумісних покриттів на імплантатах та інших медичних пристроях для підвищення їх довговічності та зносостійкості) [7].

1.2 Формування зміненого поверхневого шару під час ЕІЛ

Формування зміненого поверхневого шару (ЗПШ) під час ЕІЛ включає кілька ключових етапів:

- початковий розряд (на першому етапі між анодом і катодом виникає імпульсний електричний розряд, який створює високу температуру в зоні розряду; ця температура досягає рівня плавлення матеріалу аноду);
- розплавлення матеріалу аноду (під дією високої температури матеріал аноду розплавляється і частково випаровується; розплавлені частинки матеріалу переносяться до катода);

- перенесення розплавленого матеріалу (розплавлені частинки матеріалу аноду переносяться через розрядний проміжок до катоду під дією електричного поля та конвекційних потоків);
- осідання на катоді (розплавлені частинки матеріалу осідають на поверхні катоду, утворюючи новий поверхневий шар; охолодження частинок приводить до їхньої кристалізації і формування твердого покриття);
- нарощування покриття (з кожним наступним імпульсом процес повторюється, що приводить до нарощування товщини покриття; поверхневий шар формується з множини тонких шарів, що накладаються один на одного та переміщуються між собою) [7].

Для створення якісних багатошарових (багатокомпонентних) покриттів слід створити умови, для переносу матеріалу та враховувати фактори, які перешкоджають його нанесенню. Обов'язковою умовою формування зміненого поверхневого шару при ЕІЛ на локальних ділянках катоду є ерозія матеріалів легувальних електродів (переважно у рідинно-крапельному стані) та наявність мікрованни з розплавленим мікрооб'ємом матеріалів [18].

За критерієм Л.С. Палатника всі метали можна розташувати в ряд за збільшенням їх ерозійної стійкості: Ti – Zr – V – Ni – Fe – Co – Cr – Nb – Cu – Ta – Mo – W. Вчений вважав, що ерозійна стійкість матеріалу визначається його основними теплофізичними сталими, а саме: теплоємністю, густиною, теплопровідністю, температурою плавлення.

Умова інтенсивного масопереносу матеріалу аноду на катод та високої адгезії зі зразком полягає у тому, щоб процеси на електродах мали різко асиметричний характер, зокрема розподіл температури у міжелектродному проміжку (забезпечення різної температури електродів). Важливим є зварювання частинки з основою та утворення перехідного шару з властивостями матеріалу аноду.

Дослідження структурних перетворень в поверхневому шарі різних матеріалів при ЕІЛ на повітрі дозволили встановити наступні види переносів та взаємодії речовин електродів: утворення покриттів на катоді з матеріалу аноду; утворення сплавів (твердих розчинів, сумішей, інтерметалідів) в поверхневому шарі катоду в результаті взаємної дифузії елементів обох електродів; переважних масоперенос з катоду на анод з утворенням покриттів з матеріалу катоду або сплаву матеріалів

катода та аноду [18].

Як правило, в процесі ЕІЛ на поверхні обох електродів утворюється шар зі зміненою структурою – змінений поверхневий шар (ЗПШ), який при впливі на нього травників, залишається “білим”, т.б. його структура не виявляється.

Утворення “білих” шарів відбувається в умовах локальної дії високих температур та тисків. Висока швидкість тепловідведення приводить до того, що в межах товщини шару порядку декількох мікрометрів температура швидко спадає до температур плавлення та відповідних фазових перетворень. Кристалізація, фазові перетворення, дифузія та хімічна взаємодія, які супроводжують процес ЕІЛ, приводять до утворення дуже нерівноважних структур з дрібними зернами, високою гетерогенністю за складом, структурою та властивостями. Твердість нанесеного шару набагато перевершує твердість матеріалу катода. Поверхня являє собою “білий” шар з різким переходом до матеріалу основи або “білий” шар з проміжним шаром, що переходить до матеріалу основи [19]. Певний характер розподілу різних зон залежить від матеріалу основи та електромеханічних режимів ЕІЛ.

Природа “білого” шару дотепер остаточно не встановлена. В деяких роботах специфічні властивості цього шару пояснюються зміцнюючою дією електричної іскри, хоча більшість дослідників вважають, що ефект зміцнення пов’язаний не лише з імпульсною локальною дією на матеріал основи високих тисків та температур, але й значною мірою з явищами масопереносу з анода на катод [20, 21].

Механізм утворення “білого” шару був вивчений в роботі [22]. Досліджуючи процес ЕІЛ сталі тугоплавкими сполуками, автори запропонували, що утворення “білого” шару здійснюється шляхом перенесення електродного матеріалу на основу та хімічної взаємодії матеріалів електродів між собою та з оточуючим середовищем. Було встановлено, що до складу “білого” шару входять елементи легуючого електродного матеріалу та середовища. Їх вміст знижується по глибині шару, а загалом вміст елементів в шарі підвищується зі зростанням потужності імпульсу розряду. Однак, металографічний і рентгеноструктурний аналізи поверхневих шарів, після ЕІЛ поверхневих шарів різними електродними матеріалами показали, що склад зміцненого шару може значно відрізнятися від складу електродних матеріалів. Це може бути наслідком специфіки впливу дії процесу ЕІЛ на електродні матеріали: надвисока швидкість нагрівання та охолодження, контакт ювенільних поверхонь

електродів між собою та оточуючої атмосфери в умовах імпульсної дії високих температур і тиску, висока швидкість дифузійних процесів.

Хоча дія іскрового розряду дуже короткочасна, в процесі ЕІЛ має місце не тільки спрямоване масоперенесення матеріалу електроду на основу, але й активне дифузійне переміщення атомів перенесеного матеріалу в поверхневий шар основи, хімічна взаємодія матеріалів електродів. Саме ці явища обумовлюють появу у “білому” шарі метастабільних фаз, наявність окислів та нітридів при зміцненні на повітрі, утворення пересичених твердих розчинів.

Специфічні властивості “білого” шару зумовлені хімічно-термічною дією електроіскрового розряду та направленим масопереносом, активним перемішуванням матеріалу аноду та катоду, їх хімічною взаємодією.

1.3 Створення покриттів на титані та його сплавах методом ЕІЛ

Електроіскрове легування титану та його сплавів дозволяє покращити деякі важливі властивості поверхонь, такі як твердість, міцність, зносостійкість, теплостійкість та корозійна стійкість [23 – 37].

В роботі [29] зроблено огляд наукових робіт щодо актуальності електроіскрового легування титанових сплавів з метою створення зміцнених покриттів. Зокрема, нанесені Ti-Al, Ti-Ni, Ni-Cr, WC-Co, WC-Cu, Zr-Cu, Ti-Cu, Ti-Al-Zr, Ti-Ni-Zr-Mo-Al-C, Ti-C-Ni-Fe, Ti-C-Ni-Al, Ti-Al+Nb та інші леговані шари підвищують поверхневу мікротвердість у 6 разів порівняно з нелегованою основою титанового сплаву, а також поліпшують зносостійкість, корозійну стійкість.

Дослідження, проведені в роботі [8] показали, що застосування композитних карбідних матеріалів через ЕІЛ з низькою енергією імпульсу на сплаві ВТ-6 і на комерційно чистому титані Ti-GR2 дозволяє отримати щільні покриття з рідкісними мікропорами та шорсткістю Ra (2 – 5) мкм, товщиною (10 – 25) мкм, і мікротвердістю до 3 – 4 разів вище, ніж у матеріалу основи.

В роботі [30] було показано, що електроіскрове легування поверхні титану паладієм допомагає підвищити його корозійну стабільність в (10 – 40) % розчинах H_2SO_4 . В іншому дослідженні [31] було показано, що покриття, отримані шляхом співосадження Al-Co-Y на сплаві TiAl-Nb за допомогою техніки пакування цементу

при температурах (650 – 720) °С, показали відмінну стійкість до окислення при високих температурах.

Автори [32] встановили, що під час електроіскрового легування титанових сплавів анодами з алюмінію, нержавіючої сталі (11Х15Н25М6АГ2), твердих сплавів (Т15К6, ВК6М), сплавів W-Cr-Co, W-Fe-Ti, відбувається покращення стійкості до зношування. Велике збільшення жаростійкості матеріалів, що зміцнюються, до трьох разів спостерігається при використанні алюмінію в якості електродного матеріалу, за рахунок того формування інтерметалідної сполуки TiAl. При застосуванні аноду зі сталі та сплаву W-Cr-Co товщина шару стає більшою у 1,5, ніж при ЕІЛ електродними матеріалами з твердого сплаву.

У роботі [33] досліджено формування захисного електроіскрового покриття на поверхні титанового сплаву ВТ18, коли у якості легувальних електродів застосовували Al, TiAl, Ni₃Al, які обиралися для досягнення підвищення термічної стабільності сплавів титану та їх жаростійкості.

Автори роботи [34] вивчали вплив ерозійних характеристик Cr- та W-анодів під час нанесення їх на високоміцний титановий сплав ВТ22. Дослідниками був встановлений вплив зміни фазового складу та структури на триботехнічні властивості поверхні досліджуваного матеріалу. Показано, що нанесені покриття мають високу мікротвердість (16 ГПа), зносотривкість (4,9 мкм/км) за швидкості ковзання 5 м/с під навантаженням 0,5 МПа.

Оскільки сплав ВТ22 має підвищену хімічну активність, а, отже, низьку зносотривкість, вирішенням проблеми стає нанесення електроіскрового покриття. В роботі [35] вивчено втомні характеристики титанового сплаву ВТ22 із зносостійкими покриттями.

Зважаючи на те, що на даний час для підвищення зносостійкості поверхонь матеріалів за допомогою технології ЕІЛ в якості електродів зазвичай вибирають матеріали високої твердості, такі як сплав карбіду вольфраму і кобальту (WC-Co) і сплави на основі нікелю, в роботі [36] використовували анод з цементованого карбіду WC92–Co8 на поверхню титанового сплаву. В результаті дослідження було отримане товсте та щільне покриття з рідкісними тріщинами. Металургійний зв'язок утворився між покриттям і підкладкою внаслідок змішування WC92–Co8 з титановим сплавом у локалізованих «мікроточках» розплаву та на межах розділу.

Атоми титану проникали в покриття і вступали в хімічну реакцію з вуглецем. У покритті присутні такі стабільні фази, як TiC , W_2C та W . Термодинамічний аналіз та експериментальні результати свідчать про можливе утворення проміжних фаз у покритті. Ці матеріали наносилися на поверхню титанового сплаву для створення зміцненого покриття з низьким коефіцієнтом тертя та високою твердістю. Мета полягає в досягненні твердості покриття в кілька разів вище, ніж у підкладки, значно зменшуючи знос поверхні матеріалу під час тертя при експлуатації.

Автори роботи [37] використовували нерозчинні нітридні електроди Ti та Zr для зміцнювальної обробки на поверхні титанового сплаву ВТ6. Дослідження кінетики масоперенесення, розподілу легуючих елементів і продуктивності після електроіскрового легування поверхні титанового сплаву ВТ6 показали, що мікротвердість легованого шару у (3 – 5) разів, а мікротвердість зони термічного впливу у (1,5 – 2) рази перевищують мікротвердість основи. Зразки з покриттям також продемонстрували значно вищу стійкість до високотемпературного окислення.

Висновки до розділу 1

Аналіз літературних джерел вказує на перспективність методу електроіскрового легування, оскільки він є одним з прогресивних напрямків створення поверхневих шарів з високими триботехнічними характеристиками, які неможливо отримати традиційними методами зміцнення.

Електроіскровим легуванням можна змінювати механічні, термічні, електричні, термоємісійні та інші властивості робочих поверхонь деталей машин та ріжучого інструменту, завдяки застосуванню в якості електродів широкої гами матеріалів.

Останнім часом популярності набувають дослідження багатокомпонентних функціональних покриттів, створених шляхом пошарового ЕІЛ або обробки твердосплавними композитами з нових матеріалів. Такі покриття мають комплекс унікальних фізико-механічних властивостей на відміну від однокомпонентних.

Застосування методу ЕІЛ для обробки титану та сплавів на його базі дозволяє значно покращити характеристики робочих поверхонь деталей (міцність, зносостійкість, теплостійкість, жаростійкість та корозійна стійкість), тим самим подовжуючи строк їх експлуатації.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Об'єктом дослідження є зразки сплаву ВТ-6 циліндричної форми. Хімічний склад сплаву наведений у таблиці 2.1 [38]

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваного зразка [38]

Матеріал	Хімічний склад, (мас. %)
Сплав ВТ-6	Титан (86 – 90); Алюміній (5,3 - 6,8); Ванадій (3,5 - 5,3); Цирконій 0,3; Кремній 0,1; Залізо 0,6; Вуглець 0,1

Сплав ВТ-6 є поширеним твердим титановим сплавом. Зарубіжні аналоги - Ti-6Al-4V, Grade 5. Сплав ВТ-6 відноситься до класу $\alpha+\beta$ за структурою і є одним із найпоширеніших у світі титанових сплавів. Ванадій та алюміній, що входять до складу сплаву, роблять його не тільки високоміцним, жаростійким, а й пластичним.

Унікальні поєднання технологічності, зварюваності, міцності дозволяють використовувати сплав ВТ-6 в авіації, космічній галузі, машинобудуванні, морському суднобудуванні, хімічному виробництві, нафтогазовій галузі, медицині, зокрема, для виготовлення прутків, кіл, дроту, листа, стрічки, труб; різального, вимірювального і хірургічного інструментів; пружин, підшипників і інших виробів, працюючих на знос в слабо агресивних середовищах; побутових приладах і предметах домашнього вжитку; як жароміцний і жаростійкий матеріал при роботі до (400 – 450) °С для кріпильних виробів, валів, пружних елементів, що піддаються дії слабо агресивних середовищ, наприклад, при переробці нафти.

Завдяки хорошій зварюваності, сплав ВТ-6 підлягає електроіскровому легуванню.

В якості анодів використовувалися метали високої чистоти – Co та Nb, а також графіт (вуглець). Хімічний склад даних матеріалів представлений у таблиці 2.2 [38].

Таблиця 2.2 – Хімічний склад легувальних електродів [38]

Матеріал аноду	Хімічний склад, мас %
Кобальт	Co (99,98 %)
МГП-6	C (99,99 %)
Ніобій	Nb (99,98 %)

Кобальт слугуватиме основою легованого шару. Ніобій обирався як карбідоутворюючий елемент, який при взаємодії з вуглецем формуватиме карбід NbC, що сприятиме збільшенню твердості та зносостійкості поверхневого шару.

2.2 Методика експерименту (ЕІЛ)

Для проведення ЕІЛ використовували лабораторну установку «ЭЛИТРОН–26А», яка складається з корпусу та вібраційної ручки, в якій закріплюється матеріал аноду (рис. 2.3).

Установка «ЭЛИТРОН–26А» містить генератор імпульсів, контакти з якого підключені до оброблюваної деталі (катода) та електрода, встановленого в електродотримачі електромагнітного вібратора (аноду).



Рисунок 2.3 – Фотографія приладу «ЭЛИТРОН–26А»

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

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

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

Для проведення ЕІЛ викорисовували наступні електричні параметри: сила струму $I = 1,5$ А; напруга $U = (60 - 70)$ В; частота $\nu = 50$ Гц.

ЕІЛ здійснювалося послідовним нанесенням ніобію, вуглецю та кобальту за схемами: Co – C – Nb; Nb – C – Co.

Загальна тривалість легування складала 210 с (Co – 90 с; C – 30 с; Nb – 90 с).

Поверхня досліджуваних зразків сплаву ВТ-6 та легувальних анодів перед обробкою підлягали шліфуванню на абразивному папері.

2.3 Гравіметричний аналіз

Для дослідження кінетики формування покриттів під час проведення ЕІЛ відбувався гравіметричний аналіз. Гравіметричний метод аналізу полягає в вимірюванні маси електродів перед початком електроіскрової обробки та через кожні 30 с обробки. Зважування зразка (катода) та легувальних анодів проводилось за допомогою електронних лабораторних вагів «AXISAD 50» (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд електронних лабораторних вагів «AXISAD50»

За даними гравіметричного аналізу будували графіки залежності приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки.

Розрахунки приросту маси катоду (Δm_k) та ерозії аноду (Δm_a) проводили за формулою:

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

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

де t_n – час n-го вимірювання маси;

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

2.4 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість шліфів вимірювали на приладі LHVS-1000Z, який зображен на рисунку 2.5, а також на ПМТ-3М. Вимірювання мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з квадратною підставою і двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 50 г протягом (8 - 10) секунд.

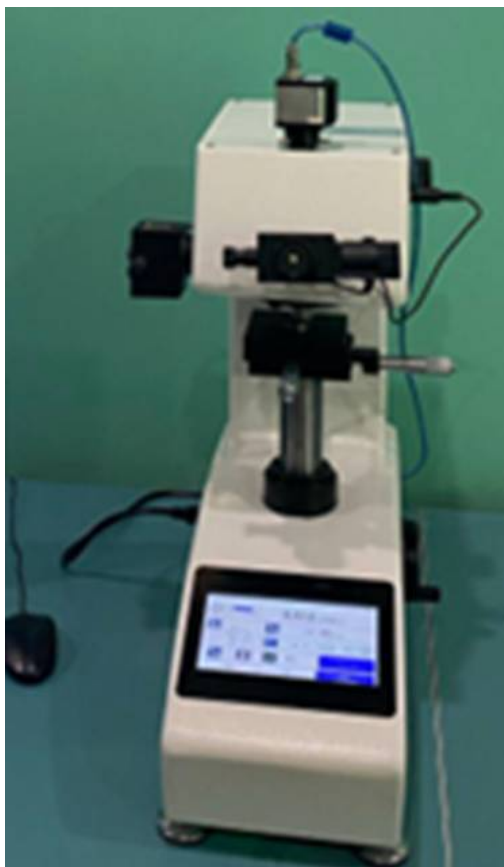


Рисунок 2.5 – Мікротвердомір LHV5-1000Z

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

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

де H_{μ} - значення мікротвердості;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

де σ_0 – довірчий інтервал.

Відносна похибка вимірювання δH_{μ} визначається :

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

Абсолютна похибка :

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

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

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

2.5 Мікроструктурний аналіз

Підготовка поперечних шліфів потребує фіксації обробленого зразка. Для цього була використана струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару, а також зразки запресовувалися у порошок бакеліту. Шліфування відбувалося із застосуванням абразивного паперу різної шорсткості від 600 до 2500, з поступовим переходом до паперу з меншим розміром абразивних часток. Створення дзеркальної

поверхні досягалося використання полірувальної пасти (оксид хрому III) з подальшим переходом до полірування на воді.

Фотографування шліфів для металографічного аналізу, здійснювалось на металографічному тринокулярному мікроскопі iScore IS.1053-PLMi, який зображений на рис. 2.6.

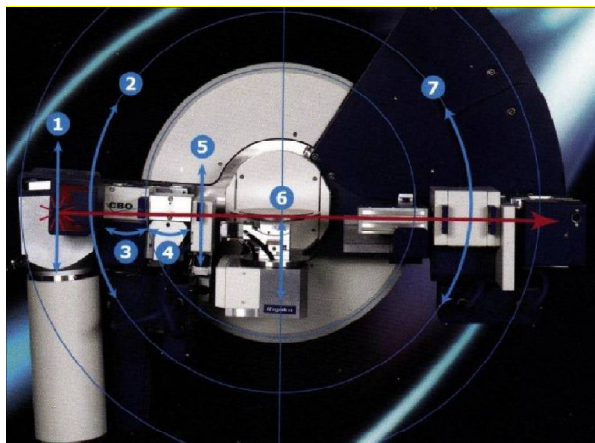


Рисунок 2.6 – Металографічний тринокулярний мікроскоп iScore IS.1053-PLMi

Фото мікроструктур поперечних шліфів зразків зроблено за допомогою цифрової камери з відповідним програмним забезпеченням, яке передає зображення на комп'ютер. Перед фотографуванням зразки піддавалися травленню у розчині дистильованої води з 2 % HF + 2 % HNO₃.

2.6 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз проведено на рентгенівському дифрактометрі багатоцільового призначення «Rigaku Ultima IV», схема камери якого зображена на рисунку 2.7.



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

Рисунок 2.7 – Схема гоніометру рентгенівського дифрактометру
 «Rigaku Ultima IV» [39]

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

Зйомка проводилась у мідному монохроматизованому випромінюванні за напруги 20 кВ та струму 30 мА.

Висновки до розділу 2

Обґрунтовано вибір матеріалів дослідження та легувальних анодів. Проведено процеси ЕІЛ сплаву ВТ-6 із застосуванням Со-, С-, Nb-анодів на лабораторній установці «ЭЛИТРОН– 26А» та обрано схеми послідовного нанесення легувальних елементів.

Для дослідження поверхневих шарів сплавів ВТ-6 з покриттями обрана комплексна методика досліджень, що включала гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETРИЧНИЙ та рентгеноструктурний аналіз.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Формування легованих шарів на сплаві ВТ-6 при електроіскровому легуванні у послідовності Co-C-Nb та Nb-C-Co

Кінетика формування легованого шару на поверхні сплаву ВТ-6 під час процесу електроіскрового легування кобальтом, вуглецем та ніобієм проводилася за допомогою гравіметричного аналізу. За результатами зміни маси катоду та всіх легувальних електродів побудовані криві приросту маси катоду та ерозії анодів, які наведені на рис. 3.1, 3.2.

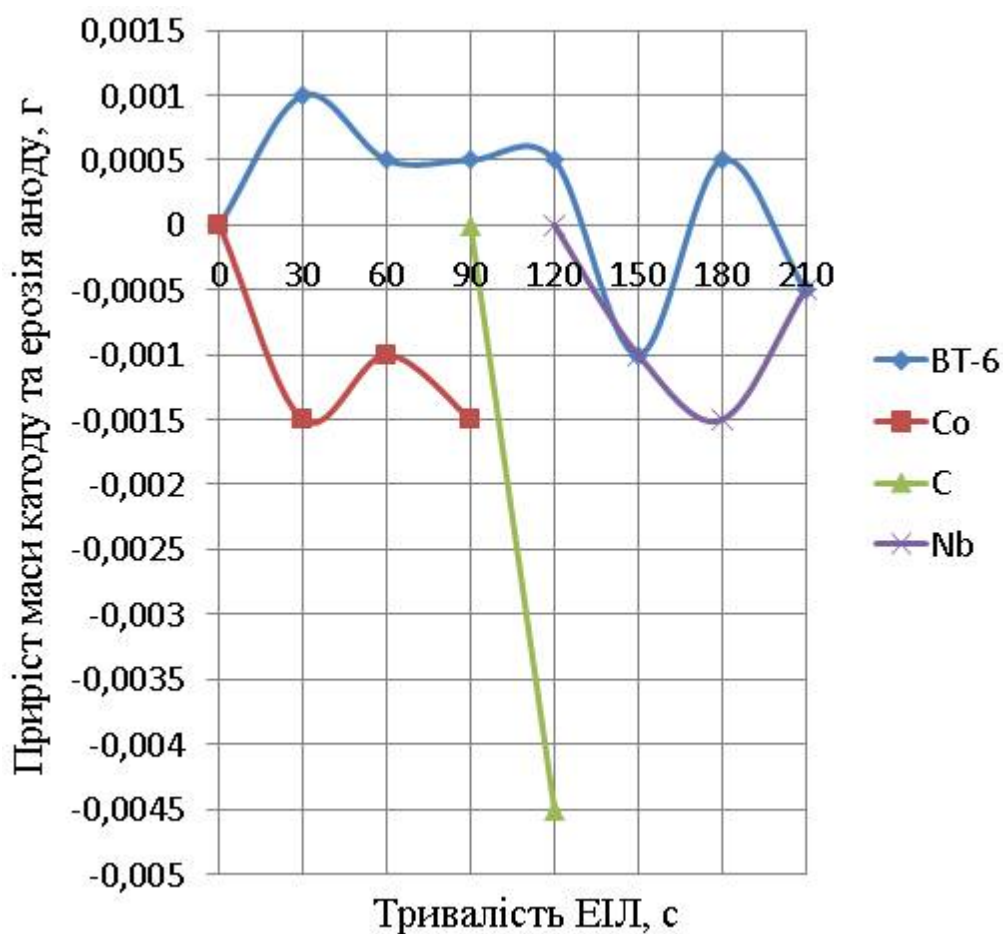


Рисунок 3.1 – Кінетика масоперенесення в процесі ЕІЛ сплаву ВТ-6 у послідовності Co-C-Nb

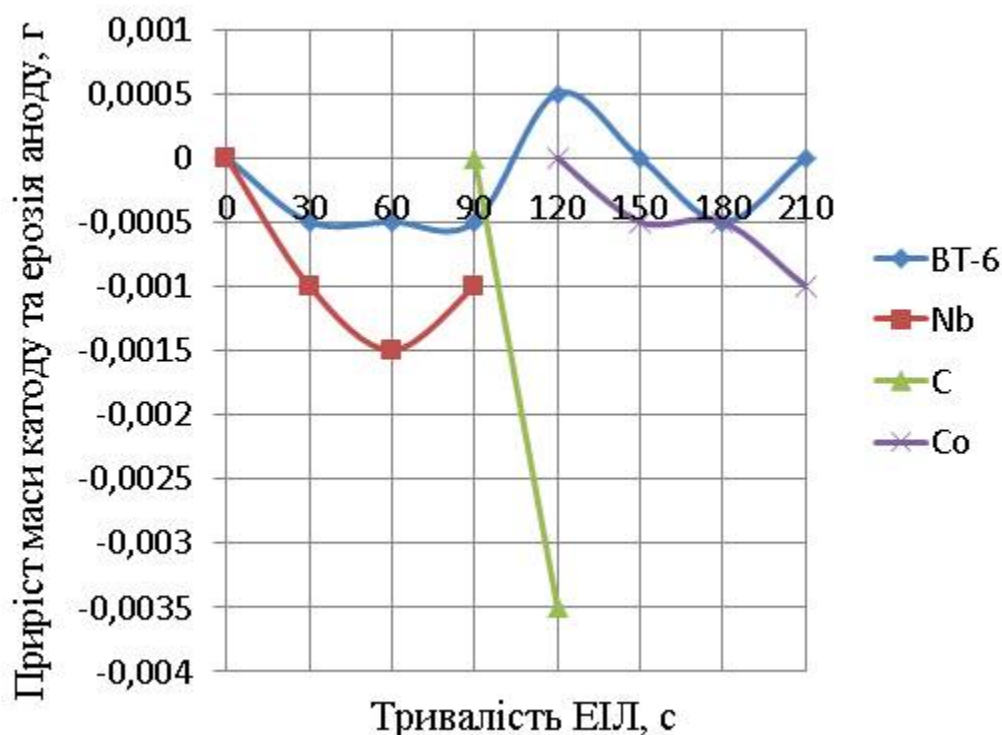


Рисунок 3.2 – Кінетика масоперенесення в процесі ЕІЛ сплаву ВТ-6 у послідовності Nb-C-Co

Крива приросту маси катоду під час обробки у послідовності Co-C-Nb знаходиться в додатній області до 120 с (рис. 3.1). Це свідчить про ефективне формування покриття під час нанесення кобальту. Потім графік переходить у від'ємну область і знову зростає на 180 с

На відміну від попереднього процесу при ЕІЛ у послідовності Nb-C-Co характер кривої приросту маси катоду є спадаючим при нанесенні ніобію (рис.3.2). На стадії легування вуглецем крива зростає та переходить у додатню область (можливе формування карбиду NbC). При нанесенні кобальту знову спостерігається спад кривої приросту маси катоду до 180 с, а на останніх 30 с обробки – збільшення.

Криві ерозії всіх анодів знаходяться у від'ємній області. Для металів (кобальту та ніобію) спостерігається менша втрата маси, ніж для неметалевого аноду (вуглецю). Можна помітити, що криві ерозії анодів досліджуваних процесів є спадаючими, за виключенням Nb-аноду (на останніх 30 с його застосування).

Зростання ерозійної кривої Nb-аноду в обох випадках ЕІЛ можна пояснити його вищою температурою плавлення (2477 °C) у порівнянні з титаном (1680 °C) та кобальтом (1495 °C), які здатні під дією іскрового розряду легше переноситися на

анод. Взаємодіючи з кобальтом, ніобій утворює обмежений твердий розчин на основі кобальту.

На фотографіях обох мікроструктур спостерігаються покриття товщиною до (30 – 35)мкм, перехідна зона та основа сплаву ВТ-6 (рис. 3.3, 3.4). В покритті є в наявності невеликі вкраплення темного кольору. В перехідній зоні видніються подрібнені зерна.

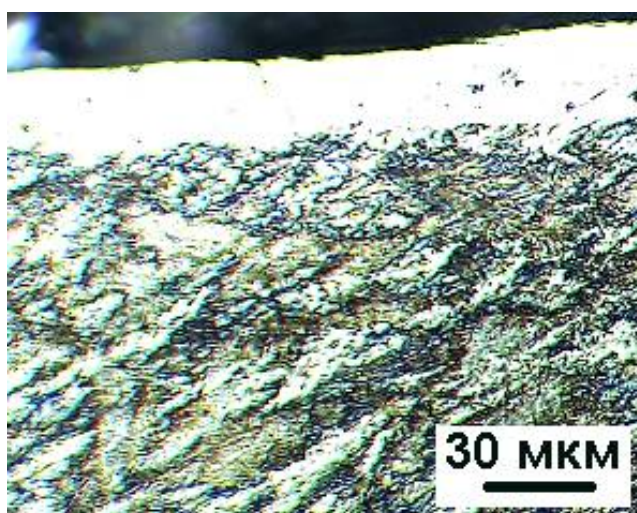


Рисунок 3.3 – Мікроструктура поверхневого шару сплаву ВТ-6 після ЕІЛ у послідовності Co-C-Nb

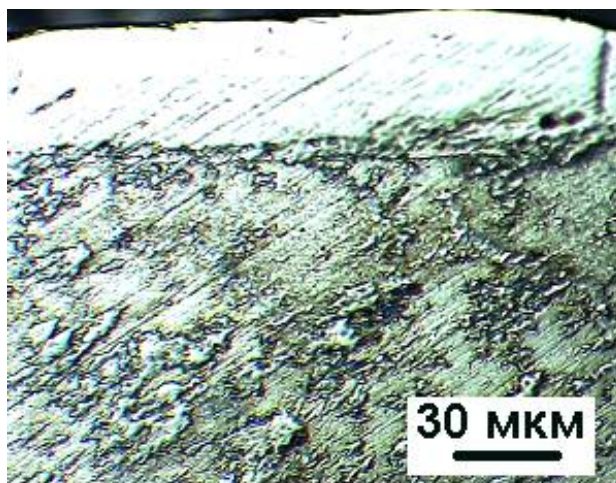


Рисунок 3.4 – Мікроструктура поверхневого шару сплаву ВТ-6 після ЕІЛ у послідовності Nb-C-Co

Проведений рентгеноструктурний аналіз поверхневого шару зразка ВТ-6 після ЕІЛ анодами в послідовності Co-C-Nb (рис. 3.5) виявив фази карбіду ніобію NbC та сполуку Nb(Co Al).

Періоди кристалічної ґратки NbC складають $a = 5,1094 \text{ \AA}$, $c = 7,9191 \text{ \AA}$ (гексагональна ґратка). Розмір областей когерентного розсіювання (ОКР) становить $23 \text{ \AA}$.

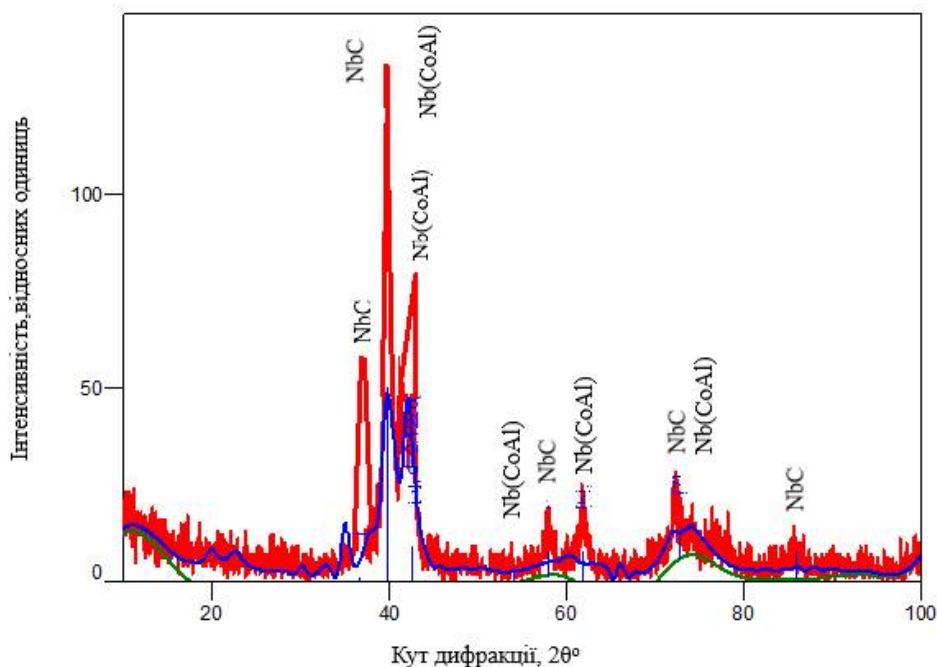


Рисунок 3.5 — Дифрактограма поверхневого шару після ЕІЛ у послідовності Co-C-Nb

Дані мікродюметричного аналізу після нанесення шарів у послідовності Co-C-Nb та Nb-C-Co на зразок ВТ-6 наведено на рис. 3.6 та 3.7, де видно, що відбувається значне зростання значень мікротвердості у порівнянні з вихідним зразком.

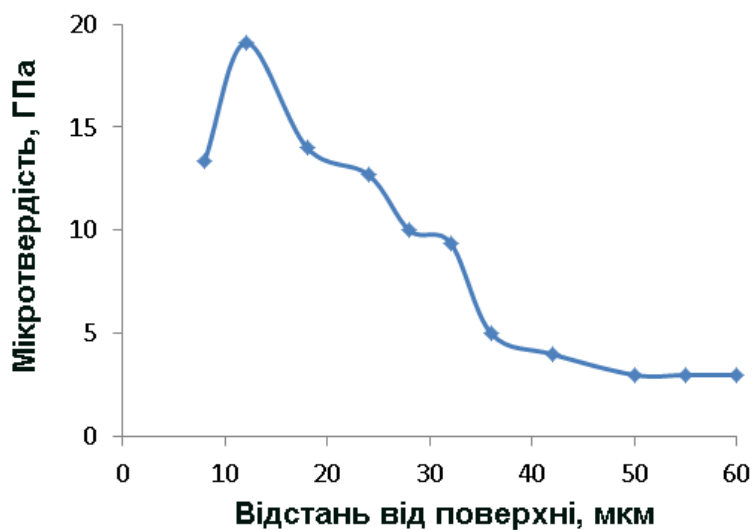


Рисунок 3.6 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі ВТ-6 з електроіскровим Co-C-Nb- покриттям

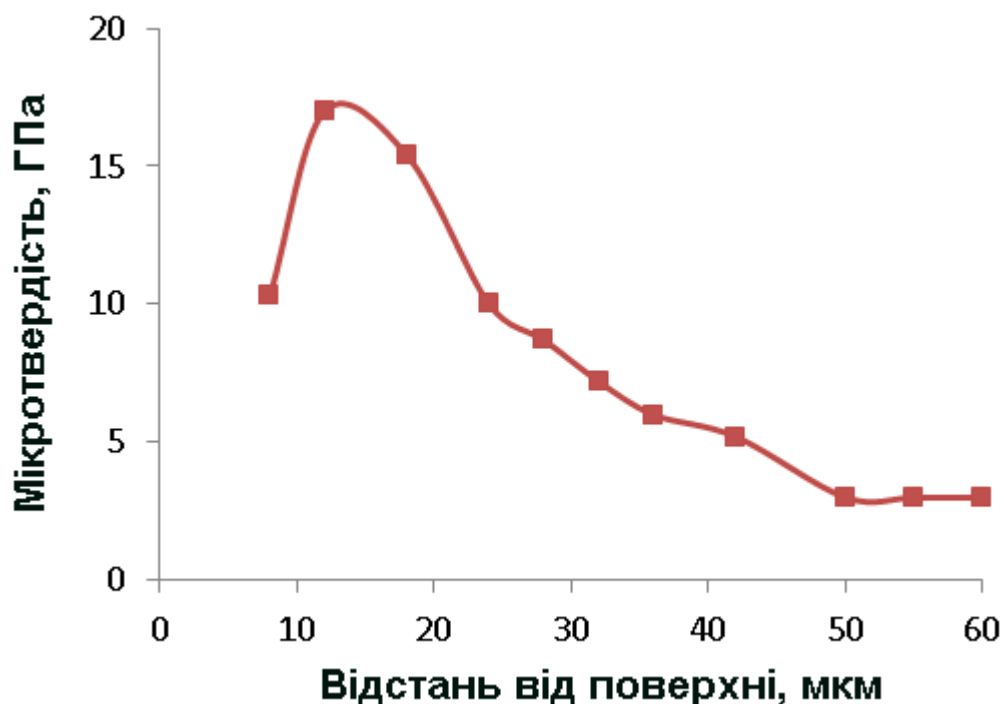


Рисунок 3.7 – Розподіл мікротвердості у поверхневому шарі VT-6 з електроіскровим Nb-C-Co-покриттям

Максимальна мікротвердість Co-C-Nb-покриття виявлена на глибині 12 мкм, вона складає 19,1 ГПа. Загалом, у такому покритті значення мікротвердості знаходяться у межах від 13 ГПа до 9,5 ГПа. Надалі твердість спадає до значень основи (3 ГПа). Розрахований коефіцієнт зміцнення поверхні складає 6,37.

Для покриття Nb-C-Co найбільше значення мікротвердості виявлено у середній частині шару – 17 ГПа. Відповідно, коефіцієнт зміцнення у такому випадку становить 5,67.

Збільшення мікротвердості можна пояснити утворенням карбіду NbC, а також інтерметалідної сполуки.

Висновки до розділу 3

Встановлена можливість створення зміцнених електроіскрових покриттів на сплаві VT-6 шляхом чергування послідовності нанесенні Co, C, Nb.

Виявлено, що формування шару відбувається протягом всієї обробки. Незалежно від послідовності легування обраними анодами товщина легованого складає (30 – 35) мкм.

Встановлено, що найбільша мікротвердість (17 ГПа та 19,1 ГПа) спостерігається у середній частині покриття; зростання її значень пояснюється утворенням карбиду ніобію та інтерметалідної сполуки між основою та матеріалом легувального аноду.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність НДР

Сплав ВТ-6 (Ti-6Al-4V) широко використовується в авіаційній, космічній та медичній промисловостях завдяки своїм високим механічним властивостям, стійкості до корозії та біосумісності. Однак, його поверхневі властивості, такі як зносостійкість, можуть бути покращені для збільшення терміну служби виробів. Легування Nb, С та Со методом електроіскрового легування (ЕІЛ) дозволяє створювати тверді та зносостійкі покриття, що підвищують експлуатаційні характеристики сплаву.

Покриття, що містять Nb, С та Со, можуть значно підвищити корозійну стійкість сплаву ВТ-6 в агресивних середовищах. Це важливо для застосувань у нафтовій, газовій та хімічній промисловостях, де матеріали піддаються впливу агресивних хімічних речовин.

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

Електроіскрове легування дозволяє модифікувати поверхню матеріалів, підвищуючи її твердість, зносостійкість та жаростійкість. Легування Nb, С та Со створює на поверхні сплаву ВТ-6 захисні шари, які здатні витримувати високі температури та механічні навантаження.

Застосування функціональних покриттів на основі Nb, С та Со може значно підвищити довговічність та надійність виробів з сплаву ВТ-6. Це особливо важливо для критично важливих компонентів, які працюють у жорстких умовах і мають обмежений доступ для технічного обслуговування або заміни.

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

4.2 Мета і завдання НДР

Мета даної роботи полягає у вивченні кінетики формування, мікроструктури, фазового складу та мікротвердості поверхневих шарів сплаву ВТ-6 після електроіскрового легування у послідовності Co-C-Nb та Nb-C-Co.

Для досягнення поставленої мети планується:

- 1) аналіз фахової літератури з даною темою:
 - провести огляд сучасних досліджень та технологій у галузі електроіскрового легування сплавів титану;
- 2) опрацювання методики, що необхідна для проведення дослідження:
 - розробити методику електроіскрового легування сплаву ВТ-6 з використанням Nb-, C-, Co-анодів;
- 3) виготовлення та обробка зразків:
 - підготувати зразки сплаву ВТ-6 для проведення електроіскрового легування;
 - провести процес ЕІЛ за схемами Nb-C-Co та Co-C-Nb;
- 4) дослідження утвореного поверхневого шару та його властивостей:
 - виконати гравіметричний аналіз для визначення приросту маси катоду та ерозії анодів;
 - провести мікродюрOMETричний аналіз для визначення мікротвердості поверхневого шару;
 - виконати мікроструктурний аналіз для вивчення структури та однорідності легованого шару;
 - провести рентгенофазовий аналіз для визначення фазового складу утвореного покриття;
- 5) висунення припущень про взаємозв'язок між властивостями елементів та властивостями отриманого шару;
- 6) формування висновків на основі отриманих даних.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

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

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

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

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

Для КПІ ім. Ігоря Сікорського посадові заробітні плати сягають:

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

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

$$\text{Денна заробітна плата} = \frac{\text{Місячна заробітна плата}}{21}$$

Тому денна заробітна плата виконавців НДР складає:

- провідного наукового співробітника - $\frac{10944}{21} = 521.14$ грн;
- старшого наукового співробітника - $\frac{9600}{21} = 457.14$ грн;

- інженера - дослідника - $\frac{8233}{21} = 392.04$ грн.

Трудовітність окремих етапів виконання НДР наведена у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Трудовітність окремих етапів виконання НДР

Етапи НДР		Трудовітність, люд.-дні		
		Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник
1. Аналіз фахових публікацій з теми		7	3	0
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження		4	4	0
3. Розробка методики проведення досліджень за темою		6	5	2
4. Проведення експерименту	Утворення іскрового проміжку	5	10	2
	Формування плазми			
	Транспортування частинок до поверхні заготовки			
	Розплавлення поверхні заготовки			
	Утворення однорідного покриття			
	Затвердіння покриття			
5. Обговорення результатів НДР		6	8	1
Всього		28	30	5

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

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

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

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

$$\text{ВС} = 0,22 \cdot \text{ЗП}$$

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

4.3.3 Визначення вартості матеріалів для виконання НДР

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

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів

Назва матеріалу	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна вартість
Сплав ВТ-6	кг	0,5	400 грн/кг	200 грн
Кобальт	кг	0,5	2300 грн/кг	1150 грн
Вуглець	кг	0,5	20 грн/кг	10 грн
Ніобій	кг	0,5	3500 грн/кг	1750 грн
Разом				3110 грн

Транспортно-заготівельні витрати (Втр) приймається у розмірі 10 % від повної вартості матеріалів:

$$\text{Втр} = 0.1 \cdot 3110 = 311 \text{ грн.}$$

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

$$\text{Вм} = 3110 + 311 = 3421 \text{ грн}$$

4.3.4 Інші прямі невраховані витрати

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

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

$$\text{Снв} = 0.1 \cdot (30266.16 + 6658.56 + 3421) = 4034,572 \text{ грн.}$$

4.3.5 Розрахунок накладних витрат

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

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

$$Нв = 0.2 \cdot (30266.16 + 6658.56 + 3421 + 4034,572) = 8876,058 \text{ грн.}$$

4.3.6 Розробка планової калькуляції собівартості НДР

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

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової собівартості НДР за темою

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн	%
Загальна заробітна плата виконавців теми	ЗП	30266.16	53,81
Відрахування до єдиного соціального внеску	ВС	6658.56	11,84
Витрати на матеріали	ВМ	3421	6,08
Інші прямі витрати	Снв	4034,572	7,17
Накладні витрати	Нв	8876,058	15,77
Всього		56256,35	100

Відповідно до даних з тал. 4.3 загальна планова собівартість НДР складає:
ЗВНДР = 56256,35 грн.

4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності

У цій роботі проведено дослідження з пошуковим та теоретичним спрямуванням. Оскільки відсутні повні дані щодо сфери застосування отриманих результатів дослідження, прямий розрахунок очікуваного річного ефекту стає

складним. У такій ситуації використовується бальна система оцінки економічної ефективності, застосовуючи наступні показники:

1) **важливість розробки**: оцінюється відповідно до таких критеріїв:

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

2) **можливість використання результатів**: оцінюється за такими критеріями:

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

3) **новизна дослідження та його теоретичне значення**: оцінюється відповідно до таких показників:

- аналіз, узагальнення або класифікація існуючої інформації;
- отримання нової інформації, яка доповнює уявлення про досліджувані процеси;
- отримання нової інформації, що частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів;
- формулювання нових теорій, методик тощо;
- тримання інформації, яка принципово змінює уявлення про досліджувані процеси, без аналогів;

4) **складність розробки**: оцінюється відповідно до таких критеріїв:

- робота, що виконується одним підрозділом з витратами менше 20000 грн;

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

Кожному з цих показників призначається відповідний коефіцієнт (K1, K2, K3, K4), який використовується для розрахунку сумарного річного економічного ефекту.

Загальна оцінка (O) є добутком усіх коефіцієнтів:

$$O = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \quad (4.1)$$

де K1 – коефіцієнт важливості розробки;

K2 – коефіцієнт можливості використання результатів;

K3 – коефіцієнт теоретичної значущості та рівня новини;

K4 – коефіцієнт складності розробки.

До таблиці 4.4 занесені результати бальної оцінки річної економічної ефективності НДР.

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка річної економічної ефективності НДР

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

Відповідно до даних занесених у табл. 4.4 величина O дорівнює:

$$O = 2 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 3 = 240$$

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

$$\text{ЕНДР} = 500 \cdot O - \text{ЕН} \cdot \text{ВНДР} \quad (4.2)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

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

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

Скориставшись формулою (4.2) маємо:

$$\text{ЕНДР} = 500 \cdot 240 - 0,2 \cdot 56256,35 = 108748,73$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\text{ЕНДР} = \text{ЕН} / \text{ВНДР} \quad (4.3)$$

$$\text{ЕНДР} = 108748,73 / 56256,35 = 1,933$$

Розрахований коефіцієнт свідчить про доцільність проведення НДР.

Висновки до розділу 4

Обґрунтована науково-технічна актуальність проведення даної НДР. Визначена планова кошторисна собівартість проведення НДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів ($\text{ВНДР} = 56256,35$ грн). Розрахований коефіцієнт економічної ефективності НДР ($\text{ЕНДР} = 1,933$), що свідчить про доцільність виконання даної науково-дослідницької роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в процесі проведення досліджень на установці «ЭЛИТРОН–26А» має на меті забезпечити безпеку праці та запобігти можливим небезпекам та шкідливим факторам. Для цього рекомендується виконувати такі заходи:

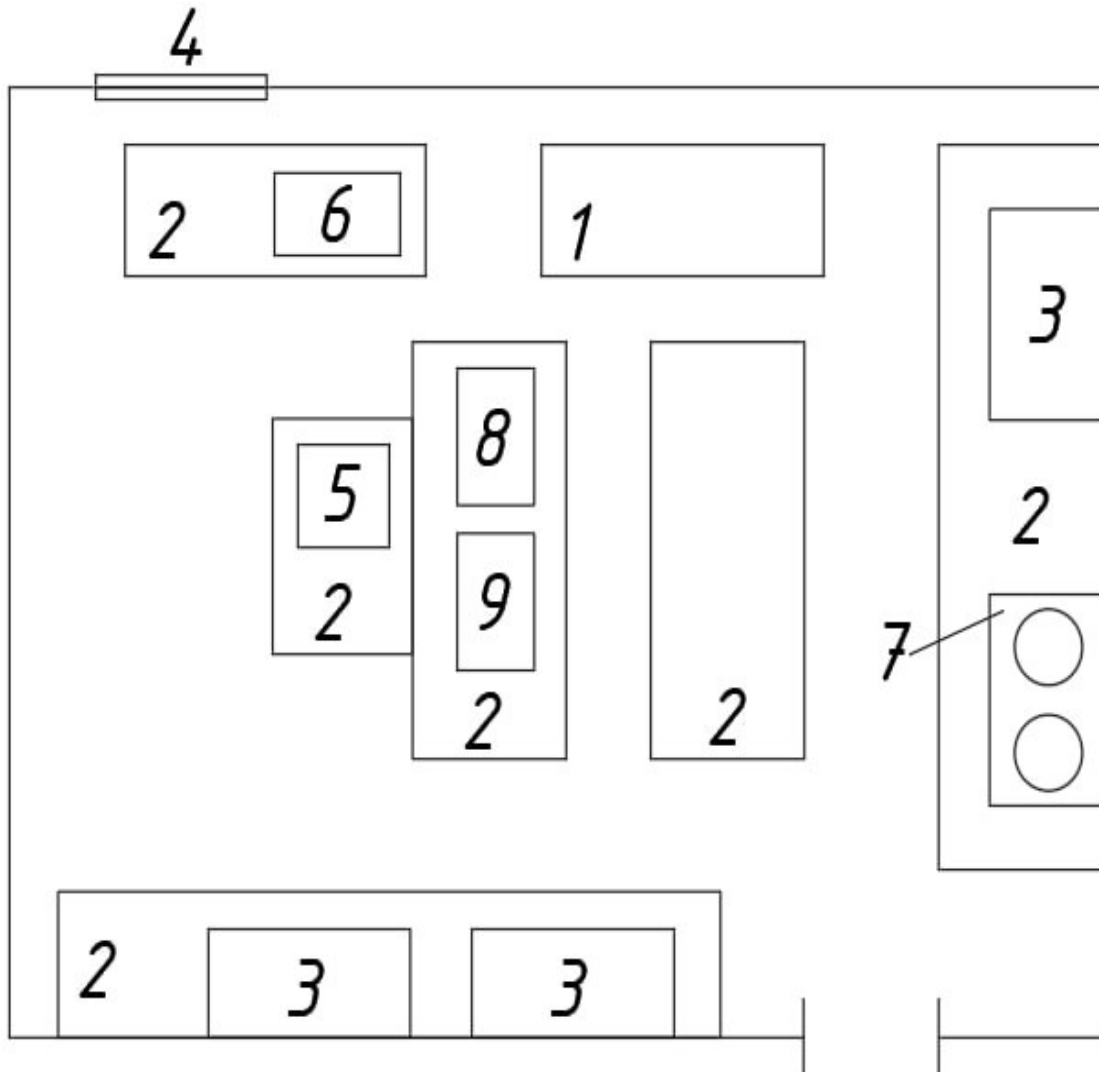
- проведення аналізу небезпечних та шкідливих факторів, що виникають під час електроіскрового легування сплаву ВТ-6 анодами Nb, Co, C;
- визначення умов та факторів, що можуть призвести до травмування людей, та розробка заходів для їх попередження;
- забезпечення відповідних організаційно-технічних заходів для зменшення ризику ураження організму людини;
- розробка та впровадження заходів безпеки, спрямованих на усунення небезпек та шкідливих факторів;
- проведення навчання працівників щодо правил безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях;
- забезпечення належних засобів індивідуального захисту працівників та контроль їх використання;
- виконання регулярного контролю за дотриманням вимог охорони праці та вжиттям необхідних заходів для забезпечення безпеки.

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

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

5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні

Дослідження науково-дослідницької роботи проводилися на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона в корпусі № 9, 0 поверх, аудиторія № 045. Схема аудиторії представлена на рисунку 5.1 . Параметри аудиторії представленні в табл. 5.1.



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

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

Таблиця 5.1 – Параметри аудиторії

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

Аудиторія має площу 42 м^2 та об'єм $156,9 \text{ м}^3$. Кількість працюючих в аудиторії становило 3 особи.

Площа, яка приходить на одну людину – 14 м^2 , об'єм $\sim 52,3 \text{ м}^3$. Згідно з ДБН В.2.2-28-2010, де на одну людину повинно припадати не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, дані відповідають нормам [40]. В таблиці 5.2 наведено параметри мікроклімату.

Таблиця 5.2 – Виміряні та нормовані параметри мікроклімату

Категорія робіт легка 1 а					
Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювання	Вентиляція
		Оптимальне	Допустиме		
Температура, $^{\circ}\text{C}$	Теплий	23-25	21-28	26	Природна
	Холодний	22-24	20-24	22	Природна
Відносна вологість повітря, %	Теплий	40-60	<60	42	Природна
	Холодний	40-60	<75	53	Природна

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

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт – Іа [40]. Ця категорія включає в себе легкі фізичні роботи до 120 Ккал/год., що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження.

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

5.2 Аналіз повітря

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

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

Потрапляти ці речовини в повітря можуть під час технологічних процесів, таких як, наприклад, плавлення та шліфування. Шкідливі речовини можуть бути токсичними, канцерогенними, алергенними, або мати інший негативний вплив, який залежить від використаних у досліді матеріалів і типу їх обробки [41].

В аудиторії 045 матеріали піддаються різним типам обробки, такими як полірування, шліфування та травлення, з використанням паст ГОІ (діоксид хрому) та розчину 2 % HNO_3 + 2 % HF у дистильованій воді, що є стандартним травником для титанових сплавів. Перевищення концентрації цих речовин у повітрі може призвести до запаморочення, отруєння та зниження працездатності.

Гранична концентрація в повітрі шкідливих речовин в виробничому приміщенні 045 не перевищена та відповідає нормам.

5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку

Шум – це коливання частинок навколишнього середовища (газу, рідини, твердого тіла), що сприймається органами слуху людини як небажані сигнали [42]. Утворення звукових хвиль рухомими елементами обладнання, які мають частоту менше 20 Гц, може бути причиною появи інфразвуку. Так само при роботі технологічного обладнання з утворенням звукових хвиль з частотою понад 20 000 Гц може викликати ультразвук [43].

Небезпека шумового забруднення полягає в тому, що довготривалий шумовий вплив на людину може знижувати слухову чутливість, підвищувати навантаження на нервову систему, призводити до головних болей та інших хвороб (гіпертонічна та виразкова, неврози, шлунково-кишкові і шкіряні захворювання). При довготривалих або голосних параметрах шуму, вплив може бути безповоротний. Так при значеннях шуму ≥ 90 дБА може виникати приглухуватість, а при ≥ 145 дБА – пошкодження барабанної перетинки [44].

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

Так як шумові навантаження від зазначених джерел були короткотривалими та в рамках допустимих значень та експериментатор робив часті перерви для внесення та аналізу даних, можна зробити висновок про відповідність звукового фону нормам.

5.4 Аналіз освітлення

Освітленість є параметром освітлення поверхні, що створюється світловим потоком що падає на поверхню та вимірюється в люксах. Освітлення може бути природнім (сонячні промені) та штучним (електричні джерела світла). Штучні джерела освітлення в основному використовуються при недостатньому природному освітленні через особливості знаходження виробничого приміщення або через погодні умови чи темну пору доби. Джерела освітлення мають також окрему класифікацію, природнє поділяється на: бокове (одно- або двобічне), верхнє та комбіноване, штучне – загальне, місцеве та комбіноване. Більш детальніше класифікація наведена на схемі рисунок 5.2 [45].

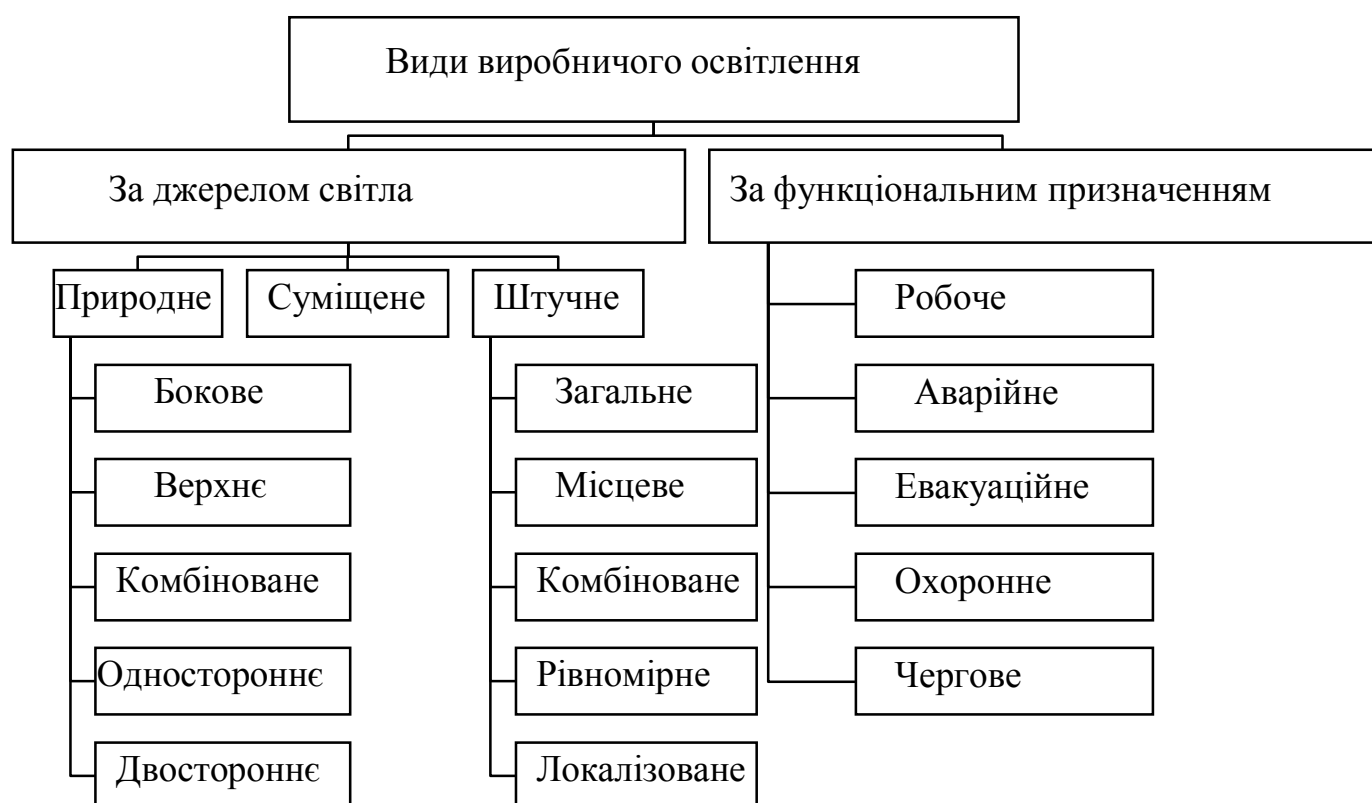


Рисунок 5.2 – Класифікація видів виробничого освітлення

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

розміру та контрасту об'єкта дослідження та інших характеристик зорової роботи встановлюються нормативні вимоги згідно ДБН В.2.5.28-2006 [45].

В аудиторії № 045 суміщений тип освітлення: присутнє природнє бокове та штучне освітлення. Проведені роботи можна віднести до IV розряду зорових робіт так, як роботи середньої точності. Для штучного освітлення використовуються стандартні лампи розжарювання – для місцевого та люмінесцентні (ЛБ-40 × 20) для загального.

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

5.5 Електробезпека

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

В аудиторії № 045 підключені такі прилади, як: установка для ЕІЛ «ЭЛИТРОН–26А», обчислювальна техніка (ПК), мікротвердомір ПМТ-3М та шліфувальні машини. Установка «ЭЛИТРОН–26А» має підсилену ізоляцію, електронні ваги, мікротвердомір та шліфувальні машини мають робочу ізоляцію.

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

Причинами ураженням електричним струмом можуть бути:

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

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

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

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

В приміщенні аудиторії де проводились дослідження застосовані наступні методи електробезпеки:

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

5.6 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Аудиторію № 045 можна віднести до категорії «Г» відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1- 36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» так як процес обробки супроводжується виділенням іскор та тепла, також в залежності від типу ЕІЛ можуть бути присутні негорючі речовини в розжареному або розплавленому стані.

Пожежонебезпечними локаціями аудиторії можна визначити місця прокладання електропроводки, де загоряння може виникнути внаслідок короткого замикання.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5 (ГОСТ 15150), а на сходових клітках і в коридорах

шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ- 1). План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.3.

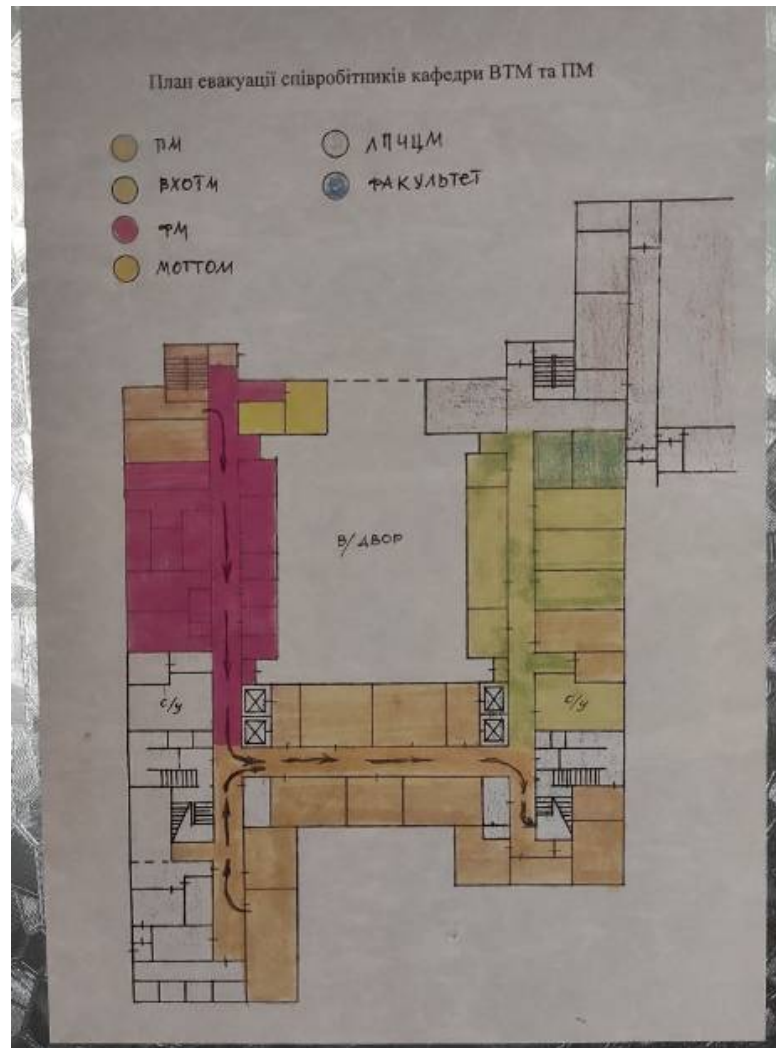


Рисунок 5.3 – План евакуації 0-го поверху 9-го корпусу

Основні заходи по пожежній безпеці для запобігання аварійних ситуацій [46]:

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

- проведення інструктажів та симулювання дій при пожежі;

У випадку ж пожежі, яка виникла на електроустановці, або ж при увімкненій електроустановці необхідно знеструмити її при можливості та не використовувати при гасінні воду, а використовувати вуглекислотний або вуглекислотноброметиловий вогнегасник [47].

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

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

Згідно з наказом від 04.08.2022 № НУ/129/2022, сигнал "Повітряна тривога" [48] поширюється за допомогою централізованої системи оповіщення, яка включає сирени, регіональне радіо та телебачення. Цей сигнал, що триває від трьох до п'яти хвилин, призначений для попередження про можливу небезпеку ракетних або авіаційних ударів від противника, а також надає рекомендацію негайно шукати укриття. В якості найближчого укриття може слугувати станція метро.

Крім того, можна отримувати сигнал про повітряну тривогу за допомогою мобільних додатків, таких, як "Повітряна тривога" та "Відбій повітряної тривоги". Однак, цей варіант не є релевантним для аудиторії № 045, оскільки вона знаходиться на 0 поверсі, де можуть бути обмеження доступу до Інтернету для мобільних телефонів.

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

- зберіться швидко і без паніки та прямуйте до укриття, яке знаходиться на території Університету і зазначене у Плані закріплення найпростіших укриттів для працівників університету. При цьому, не забудьте взяти з собою питну воду та їжу;

- слухайте та дотримуйтеся вказівок відповідальної особи, яка керує евакуацією та розміщенням укритті;
- у внутрішніх приміщеннях укриття не дозволяється палити, смітити або розмовляти голосно. Важливо зберігати спокій, дотримуватися порядку та надавати допомогу дітям, літнім людям та інвалідам;
- уважно стежте за розпорядженнями та сигналами оповіщення, щоб бути в курсі подальших інструкцій;
- після отримання повідомлення про скасування повітряної тривоги, ви можете залишати укриття та повертатися до своєї роботи.

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

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

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

разі небезпеки.

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

- якщо ви знаходитесь вдома, швидко знайдіть безпечне місце для схову, таке як ванна кімната або сама ванна. Ці місця можуть надати додатковий захист від куль і уламків. Якщо немає доступу до цих приміщень, ляжте на підлогу та вкрийте себе предметами, які можуть служити природнім бар'єром; якщо ви перебуваєте на відкритому місці, спустіться на землю та негайно прикрийте голову руками. Шукайте будь-яких виступів або заглиблень в землі, які можуть послужити як природні укриття. Навіть сміттєвий бак може надати певний захист;

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

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

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

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

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

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

- прибувши в укриття, увімкніть телебачення або радіо на будь-якому засобі комунікації або перегляньте сторінки офіційних державних каналів. Там протягом 5 хвилин нададуть інформацію про поточну ситуацію та надані інструкції. Дотримуйтесь цих інструкцій;
- залишайтеся в укритті щонайменше 10 хвилин після завершення обстрілу, оскільки існує загроза його повторення;
- завжди слід слухати та дотримуватися інструкцій, наданих офіційними джерелами та відповідальними органами у таких небезпечних ситуаціях.

Висновок до розділу 5

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

ВИСНОВКИ

1. Показано, що існує можливість зміцнення поверхні сплаву ВТ-6 шляхом створення покриттів товщиною (30 – 35) мкм послідовним нанесенням Co, Nb, C в процесі електроіскрового легування.
2. Виявлено, що збільшення мікротвердості у поверхневому шарі сплаву ВТ-6 до 19,1 ГПа відбувається при ЕІЛ у послідовності Co – C – Nb і до 17 ГПа при ЕІЛ у послідовності Nb – C – Co завдяки наявності у покритті фаз NbC та Nb(CoAl).
3. Встановлено, що зміна послідовності легування Nb-, C-, Co-анодами впливає на кінетику формування та мікротвердість покриттів на сплаві ВТ-6, але на товщину шару впливу не здійснює.
4. Обґрунтована науково-технічна актуальність та визначена планова кошторисна собівартість науково-дослідницької роботи. Розрахований коефіцієнт економічної ефективності свідчить про доцільність виконання даної НДР.
5. Умови на робочому місці відповідають існуючим нормам і вимогам. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення відповідають санітарним нормам, а рівень шуму не перевищує допустимого рівня.

CONCLUSION

1. It is shown that there is a possibility of strengthening the surface of the VT-6 alloy by creating coatings with a thickness of (30-35) microns by sequential application of Co, Nb, C in the process of electrospark alloying.

2. It was found that an increase in the microhardness in the surface layer of the VT-6 alloy to 19.1 GPa occurs during EIL in the sequence Co – C – Nb and to 17 GPa during EIL in the sequence Nb – C – Co due to the presence of NbC and Nb phases in the coating (CoAl).

3. It was established that changing the sequence of doping with Nb-, C-, and Co-anodes affects the kinetics of formation and microhardness of coatings on the VT-6 alloy, but does not affect the layer thickness.

4. The scientific and technical relevance is substantiated and the planned estimated cost of the scientific and research work is determined. The calculated coefficient of economic efficiency testifies to the expediency of implementing this scientific and research work.

5. Conditions at the workplace comply with existing norms and requirements. The microclimate, organization of the workplace, lighting meet sanitary standards, and the noise level does not exceed the permissible level.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гітлевич А. Електроіскрове легування металевих поверхонь / А. Гітлевич, В. Михайлов, В. Парканський. – Кишинів : Штіінця, 1985. – 197 с.
2. Johnson R. Advances in the electrospark deposition coating process / R. Johnson, G. Sheldon // J. Vac. Sci. Technol. A Vac. Surf. Film. – 1986. – Vol. 4, no. 6. – P. 2740–2746.
3. Електроіскрове легування металевих поверхонь / Лазаренко Б.Р [та ін.]. – Київ : Наук. думка, 1986. – 276 с.
4. A novel particle planting process based on electrospark deposition / D. Wang [et al.] // Materials Letters. – 2022. – Vol. 306. – P. 138–148.
5. Advancements in Electrospark Deposition (ESD) Technique: A Short Review / C. Barile [et al.] // Coatings. – 2022. – Vol. 12. – P. 15–36.
6. Лазаренко Б. Електроіскрова обробка електропровідних матеріалів / Б. Лазаренко. – Київ : Наук. думка, 1959. – 183 с.
7. Верхотуров А. Узагальнена модель процесу електроіскрового легування / А. Верхотуров // Електрофізичні та електрохімічні методи обробки. – 1983. – № 1. – С. 3–6.
8. Верхотуров А. К вопросу критериев эффективности процесса электроискрового легирования металлических поверхностей / А. Верхотуров, Л. Коневцов, И. Астапов // Весник АМГУ. – 2007. – № 39. – С. 6–9.
9. Comparative study of Ti–C–Ni–Al, Ti–C–Ni–Fe, and Ti–C–NiAl/Ti–C–Ni–Fe coatings produced by magnetron sputtering, electro–spark deposition, and a combined two–step process / P. Kiryukhantsev–Korneev [et al.] // Ceram. Int. – 2018. – No. 44. – P. 7637–7646.
10. Formation of two–layer heat–resistant coatings on TC11 alloy by electro–spark alloying method / Z. Dolgiy [et al.] // Adv. Mater. Res. – 2012. – No. 538. – P. 175–180.
11. Іващенко Є.В. Вплив послідовності нанесення Cr, C, Al в процесі електроіскрового легування на структуру та властивості поверхневих шарів сталі ХВГ / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, Н.О. Балахонова, І.М. Козюк //

Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 30.

12. Лобачова Г.Г. Створення зміцнених покриттів на сталі Ст.3 методом електроіскрового легування Co, Nb, Ti / Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, Н.О. Балахонова, Я.П. Сокур // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 31.

13. Формування покриттів на сталі Ст.3 електроіскровим легуванням титаном, алюмінієм та графітом / Н.О. Балахонова, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, К.В. Шкоденко, В.І. Нудченко // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 12, 15 – 16 грудня 2022 р, м. Київ, Україна. – С. 25.

14. Лобачова Г.Г. Особливості формування електроіскрових покриттів на поверхні сталі в процесі пошарового нанесення титану, алюмінію та заліза / Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко, Д.В. Доронін // Проблеми тертя та зношування. – № 4(77), – 2017. – С.75 – 79.

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

16. Лобачова Г.Г. Електроіскрове легування сталі Ст.3 нікелем, вольфрамом та вуглецем / Г.Г. Лобачова, А.О. Мазурик, К.В. Мелашенко // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Том I. 25-26 листопада 2015 року, м. Тернопіль, Україна. – С. 62.

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

18. Ким В.А. Влияние условий электроискровой обработки на эрозионный процесс / В.А. Ким, Д.Н. Коротаев, А.В. Гелин // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – №1. – С. 78–81.
19. A study of spark hardening process / Z. Wang [et al.] // China Surf. Eng. – 2000. – No. 13. – P. 19–21.
20. Chen Z. Surface modification of resistance welding electrode by electro–spark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization / Z. Chen, Y. Zhou // Surf. Coat. Technol. – 2006. – No. 201. – P. 1503–1510.
21. Lešnjak A. Processes and properties of deposits in electrosark deposition / A. Lešnjak, J. Tušek // Sci. Technol. Weld. Join. – 2002. – No. 7. – P. 391–396.
22. Розробка технологій і матеріалів для електроіскрового нанесення покриттів з метою підвищення терміну експлуатації і надійності деталей технологічного і енергетичного обладнання та інструментів / М.С. Стороженко, О.П. Уманський, В.Є. Шелудько, Ю.В. Губін, Т.В. Курінна. Автоматичне зварювання, №10, 2020. С. 21-25.
23. A review on wear–resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy / H. Bai [et al.] // J. Alloys Compd. – 2021. – No. 882. – P. 160–174.
24. The structure formation and hardness of high–entropy alloy coatings obtained by electro spark deposition / O. Myslyvchenko [et al.] // Powder Metall. Met. Ceram. – 2020. – No. 59. – P. 201–208.
25. Properties of electrosark coatings on titanium alloy. / I. Podchernyaeva [et al.] // Key Eng. Mater. – 1997. – No.132. – P. 1507–1510.
26. Long M. Titanium alloys in total joint replacement–a materials science perspective / M. Long, H. Rack // Biomaterials. – 1998. – No. 19. – P. 1621–1639.
27. Тарельник В.Б. Підвищення експлуатаційних характеристик і екологічної безпеки деталей машин та інструменту електроіскровим легуванням / В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова // Компресорне та енергетичне машинобудування. - 2019. - № 1 (55). – С. 2–7.
28. Технологічні методи забезпечення якості комбінованих електроерозійних покриттів [Електронний ресурс] / В.Б. Тарельник,

В.С. Марцинковський, Є.В. Коноплянченко, В.П. Яременко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. : Механізація та автоматизація виробничих процесів. - 2012. - Вип. 6. - С. 27-32.

29. Research Progress in Electrospark Deposition Coatings on Titanium Alloy Surfaces: A Short Review / J. Wang [et al.] // Coatings. – 2023. – No. 13. – 1473 p.

30. Луцевич В. Електроіскрова обробка металу / В. Луцевич. – Харків : Кн. вид., 1963. – 36 с.

31. Пячин С. Про залежність зміни маси електродів від часу при електроіскровому легуванні / С. Пячин, Н. Аблесімов, Д. Ягодзинський // Електричні методи обробки поверхні. – 2003. – № 1. – С. 19–26.

32. Electrospark alloying of titanium and its alloys: The physical, technological, and practical aspects. Part I. The peculiarities of the mass transfer and the structural and phase transformations in the surface layers and their wear and heat resistance / V.V. Mikhailov, A.E. Gitlevich, A. D. Verkhoturov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. - 2013. - Vol. 49. – P. 373-395.

33. Formation of thick-layer coating by electrospark alloying method / Ju. I. Mulin, V.D. Vlasenko // Modern materials and Technologies. – 2013. – № 1. – P. 181-184.

34. Електроіскрове легування сплаву ВТ22 електродними матеріалами з хромом і вольфрамом / О.В. Паустовський, В.І. Новікова, І.І. Тимофєєва, О.Г. Моляр, Ю.В. Губін, Н.М. Мордовець, Л.П. Ісаєва, А.Д. Костенко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – № 1. – С. 109 – 112.

35. Втомні характеристики титанового сплаву ВТ22 із зносостійкими покриттями / В.О. Краля, О.Г. Моляр, А.М. Хімко та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – № 6. – С. 119–122.

36. Wang R. Structural and interfacial analysis of WC92–Co8 coating deposited on titanium alloy by electrospark deposition / R. Wang, Y. Qian, J. Liu // Appl. Surf. Sci. J. Devoted Prop. Interfaces Relat. Synth. Behav. Mater. – 2004. – No. 228. – P. 405–409.

37. Electrosark alloying of the titanium alloy VT6 with tungsten-free hard alloys / I. Podchernyaeva [et al.] // Powder Metall. Met. Ceram. – 1996. – No. 35. – P. 588–591.

38. Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical application / T. Chang-bin [et al.] // Applied Surface Science. – 2011. – Vol. 257. – 15 p.

39. Навч. посіб. для студ. Спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.В. Карпець, С.І. Сидоренко, А.П. Бурмак. – 2021. – 113 с.

40. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко [та ін.] // За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. - 472с.

41. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.

42. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони : Наказ МОЗ України від 14.07.2020 р. 1596 : станом на 9 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text> (дата звернення: 10.06.2024).

43. Гогіташвілі Г. Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. / Г. Г. Гогіташвілі, Є.Т. Карчевські, В.М. Лапін — К.: Знання, 2007. — 367 с.

44. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.

45. Охорона праці: Навч. посіб. / Я. І. Бедрій [та ін.]; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ. лісотехн. ун-т. — Л., 2000. — 280 с. — Бібліогр.: с. 277—279.

46. Гогіташвілі Г. Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. / Г. Г. Гогіташвілі, Є.Т. Карчевські, В. М. Лапін — К.: Знання, 2007. — 367 с.

47. ДБН В.2.5-28. Норми природного і штучного освітлення. – На заміну СНиП2-4-79; чинний від 2006-10-01.URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/vr051509-04#Text> (дата звернення: 10.06.2024).

48. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко [та ін.] // За ред. О.Г. Левченка. К.: Основа, 2019. – 472 с.