

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

Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

Кафедра металознавства та термічної обробки

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Дифузійні покриття на нікелі отримані з порошкових сумішей
нітрида кремнія та титана»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ФТ – 91мп
Кравчук Володимир Федорович _____

Керівник:

В.о. зав.каф., д.ф-м.н., проф.

Карпець М.В. _____

Консультант :

з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

зав. каф., д.т.н., проф.

Левченко О.Г. _____

з економічно-організаційного розділу, розробка стартапу

доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський С.В. _____

Нормоконтроль:

доцент, к.т.н., доцент

Гриненко К.М. _____

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент

Білик І.І. _____

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

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра металознавства та термічної обробки

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

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація - «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

« 01 » вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Кравчука Володимира Федоровича

1. Тема дисертації «Дифузійні покриття на нікелі отримані з порошкових сумішей нітрида кремнію та титана», науковий керівник дисертації Хижняк Віктор Гаврилович професор д.т.н затверджені наказом по університету від « 16 » листопада 2020 р. № 3313-с
2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2020р.
3. Об'єкт дослідження: процес підвищення експлуатаційних характеристик нікелевого сплаву Н0 шляхом формування покриттів на основі нітриду TiN та твердого розчину заліза , хрому, алюмінію в нікелі.
4. Вихідні дані: ілітературні данні, результати попередніх наукових досліджень
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: літературний огляд, методологія дослідження, результати експеременту та їх обговорення, організаційно-економічна частина, охорона праці
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: мікроструктури отриманих покриттів, хімічний склад отриманих покриттів, розподіл елементів покриття за товщиною, мікротвердість, зносостійкість.
7. Орієнтовний перелік публікацій: Властивості багат шарових покриттів за участю титану, хрому, алюмінію, вуглецю, азоту на сталі у8А, д.т.н., проф. В. Г. Хижняк, к.т.н., доц. Т. В. Лоскутова, аспір. Г. Ю. Калашніков, студ. В. Ф.

Кравчук, студ. А. А Овчаров, к.т.н., доц. О. І. Дудка, збірник матеріали для роботи в екстремальних умовах – 8

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г. зав. каф., професор		
Економічно-організаційний розділ, розробка стартапу	Нараєвський С.В., доцент		
Нормоконтроль	Гриненко К.М., доцент		

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Літературний огляд	10.10.2020	
2.	Освоєння методики нанесення покриттів	28.10.2019	
3.	Освоєння рентгеноструктурного, мікрорентгеноспектрального, мікроструктурного та дюрOMETричного аналізів.	08.03.2020	
4.	Проведення серії експериментів	17.09.2020	
5.	Розрахунок економічної частини	25.11.2020	
6.	Розрахунок питань охорони праці	30.11.2020	
7.	Оформлення магістерської дисертації	16.12.2020	

Студент

Володимир КРАВЧУК

Науковий керівник дисертації

Віктор ХИЖНЯК

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 стор., 19 рис., 11 табл., 84 джерел

Об'єкт дослідження - досліджень були використані зразки карбонільного нікелю, які містять 95,5% нікелю 0,3% заліза, 0,2% мас.кобальта.

Мета роботи – Показати можливість нанесення на нікель дисперсних покриттів, які складаються з окремих включень нітриду титану, та нікелю легованого залізом, алюмінієм,хромом.

Методи досліджень: мікроструктурний, дюраметричний, рентгеноструктурний аналізи, мікрорентгеномспектральний, випробування на зносостійкість.

В роботі досліджена структура, фазовий хім склад та деякі властивості отриманих покриттів. Показана можливість створення дифузійних покриттів на нікелі з порошкових сумішей нітрида кремнія та титана.

ТИТАН, НІКЕЛЬ, ХРОМ, НІТРИДИ, ПОКРИТТЯ КАРБІД ТИТАНУ, НІТРИД ТИТАНУ, ТВЕРДИЙ РОЗЧИН, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ПОКРИТТЯ

ABSTRACT

Explanatory note: 71 pages, 19 figures, 11 tables, 84 sources

Explanatory note: 72 pages, 19 figures, 11 tables, 71 sources The object of study - studies were used samples of carbonyl Nickel, which contain 95.5% Nickel, 0.3% iron, 0.2% wt. Cobalt.

Purpose - To show the possibility of applying to Nickel dispersed coatings, which consist of individual inclusions of titanium nitride and nickel doped with iron, aluminum, chromium.

Research methods: microstructural, durametric, X-ray structural analyzes, micro-X-ray spectral, wear resistance tests, etc. The structure of phases and wear resistance of the obtained coatings are investigated in the work.

The possibility of creating diffusion coatings on nickel from powder mixtures of silicon nitride and titanium is shown.

TITANIUM, NICKEL, CHROME, NITRIDES, COATINGS TITANIUM CARBIDES, TITANIUM NITRIDE, SOLID SOLUTION, WEAR RESISTANCE, COATINGS

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	2
1.1 Дифузійні покриття.....	2
1.2 Дифузійні покриття, отримані азотуванням	3
1.3 Дифузійні покриття, отримані боруванням	10
1.4 Дифузійні покриття, отримані карбонітрируванням та нітрокарбуванням	16
1.5 Дифузійні покриття з високою корозійною стійкістю на металевій основі	19
1.6 Нанесення покриттів на нікель із суміші порошків нітриду титану, хлористого амонію та оксиду алюмінію.	22
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	24
2.2 Методика нанесення покриттів.....	24
2.3 Металографічний аналіз	25
2.4 Рентгеноструктурний аналіз.....	30
2.5 Мікрорентгеноспектральний аналіз.....	32
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.3 Мікротвердість досліджуваних покриттів.....	37
3.4 Випробування зносостійкості	39
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	42
4.1 Науково – технічна актуальність НДР	42
4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи	42
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	43
4.3.1 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців	43
4.3.2 Визначення суми єдиного соціального внеску	45

4.3.4 Витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експериментів.....	46
4.3.7 Накладні витрати по темі.....	47
4.3.8 Складання калькуляції	48
4.4 Економічна ефективність науково-дослідницької роботи	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
51	
5.1 Правові та організаційні основи охорони праці.	51
5.2 Аналіз параметрів приміщення.....	52
5.2.1 Аналіз мікроклімату в робочій зоні приміщення	53
5.2.2 Аналіз освітленості приміщення	55
5.2.3 Аналіз інфрачервоного випромінення	56
5.2.4 Аналіз впливу шуму та вібрації	57
5.2.5 Аналіз забрудненості повітря	58
5.3 Електробезпека	59
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
5.4.1 Пожежна безпека	60
5.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	61
5.6 Висновок	62
ВИСНОВКИ	63
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	64

ВСТУП

Різальні тверосплавні інструменти на основі карбіду вольфраму та кобальтової зв'язки були основним вибором в металообробній промисловості. В останній час зросла занепокоєність відносно токсичності порошку кобальту, що привело до розробки альтернативних матеріалів зв'язки [1,2]. Проведені дослідження показали доцільність використання в якості зв'язки нікелю. При нанесенні методом хімічного осадження з газової фази шару TiN на кобальт формуються щільні стовпчасті покриття. При обробці залізної підложки має місце сильна корозія основи при утворенні в газовій фазі сполуки FeCl_x . підвищення температури осадження супроводжується зростанням травимості залізної підложки.

Осадження нітрида TiN на нікель ускладнюється формуванням дифузійної зони за участю інтерметаліду Ni_3Ti . Осадження TiN відбувається після повного закриття поверхні нікеля шаром Ni_3Ti . Вважають, що присутність під шаром TiN шару Ni_3Ti негативно впливає на ріжучі властивості твердого сплаву.

Метод нанесення нітриду TiN на нікель з газової фази є добре досліджений [1,3,4,5]. Були проведені дослідження по осадженню TiN на кілька кандидатів на зв'язуючу фазу (нікель, олово, нержавіюча сталь, тощо). При дослідженні адгезії покриття з основою з використанням різних зв'язок (Fe, Ni, Co) було встановлено, що твердий сплав з кобальтом мав кращу адгезію до покриття [3].

Відомі також результати по дифузійному титануванню твердого сплаву BK8 порошковим способом [6]. В якості вихідних реагентів були використані порошки титана, хлористого амонію, оксиду алюмінію. Утворення покриттів відбувається за рахунок дифузійної взаємодії адсорбованого титану з екстрагованими з основи вуглецем та нікелем.

Висока дифузійна рухливість вуглецю сприяє утворенню на початковому етапі ХТО шару TiC . В наступному формуються інтерметаліди Ni_3Ti , NiTi .

Нікель, як відомо, крім вже зазначеної області застосування для зв'язуючого компонента в твердих сплавах, використовують для легування сталей. Таким чином роботи про отримання на нікелі покриттів з високим комплексом властивостей є актуальними

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Дифузійні покриття

Процес нанесення дифузійного покриття є одним з найбільш ефективних та з великим практичним методом застосування для поліпшення корозійної стійкості разом із зносостійкістю, твердістю та робочою напругою металів та сплавів. Це дуже важливо для вуглецевих сталей, оскільки на найбільш широко використовуваний інженерний матеріал припадає понад 80% щорічного світового виробництва сталі. Незважаючи на відносно обмежену корозійну стійкість, вуглецева сталь має широке застосування в цілому в сучасній промисловості і вартість металевої корозії в цілому [7].

економіка надзвичайно висока. Через це вуглецеві сталі та в багатьох випадках низьколеговані сталі є найбільш використовуваними конструкційними металевими матеріалами для обробки поверхонь на основі дифузійних покриттів [8].

Дифузійні покриття - це продукти високотемпературних процесів, які утворюють на металевій поверхні хімічно зв'язаний шар із визначеним хімічним складом, структурою та властивостями. Протягом десятиліть було розроблено різноманітні дифузійні покриття, які використовуються для поліпшення властивостей поверхні металів. Існує кілька видів методів нанесення покриттів, серед яких найбільш широко застосовуваним і з найбільш широко застосовуваним промисловим способом є хіміко-термічна обробка [8,9].

Технології термохімічної обробки для модифікації поверхні сталей були дуже добре досліджені та розроблені на дослідницькому та промисловому рівні. Це методи, за допомогою яких неметали або метали проникають у металеву поверхню шляхом термодифузії після хімічної реакції та адсорбції. Завдяки хімікотермічній обробці поверхневі шари

змінюють свій хімічний склад, структуру та властивості, і в багатьох випадках ця модифікована поверхня може працювати в умовах, які неможливі для матеріалу основи. Вуглецювання, азотування, карбонітрування, нітрокарбонізація, борування, хромування, алітування та цинкове покриття - найпопулярніші методи промислового застосування. Тільки цементация з усіх цих методів не формує покриттів на з високою корозійною стійкістю. Інші методи часто використовуються для поліпшення корозійної стійкості сталей шляхом модифікації поверхні, і більшість з них підвищує зносостійкість і твердість матеріалів [10].

1.2 Дифузійні покриття, отримані азотуванням

Азотування - це хіміко-термічна обробка, при якій азот в атомній або іонній формі вводиться дифузійним процесом в поверхню металу, а у випадку зі сталями заснований на розчинності азоту в залізі [11,12]. Унікальність процесу азотування була визнана німцями на початку 1920-х років. Воно застосовувалось для отримання високих характеристик:

- Високий обертальний момент
- Висока зносостійкість
- Абразивна зносостійкість
- Корозійна стійкість
- Висока поверхнева міцність на стиск

Азотовані сталі забезпечують стійкість до корозії та окислення. Поверхня такої сталі або інструменту демонструє підвищену стійкість до корозії у вологому, водному та середовищі солоної води.

Температура обробки при азотуванні зазвичай становить від 500 до 550 °C протягом періоду від 1 до 100 год залежно від методу азотування, типу сталі та бажаної глибини шару. Оскільки азотування не передбачає

нагрівання сталі до температур аустенітного перетворення, а загартування до мартенситу не потрібно, азотування можна проводити при порівняно низьких температурах і, таким чином, отримувати дифузійне покриття з високою якістю без короблення заготовки.

Метод представляє великий промисловий інтерес, оскільки формує структуру з поверхневими шарами з твердих нітрідів, завдяки чому загальні механічні характеристики, твердість, зносостійкість та корозійна стійкість сталей значно покращуються.

Зона дифузії - це вихідна мікроструктура основи з додаванням нітриду та твердого розчину азоту. Зоною поверхневих сполук є область, де утворюються $\gamma'(\text{Fe}_4\text{N})$ та $\epsilon(\text{Fe}_{2-3}\text{N})$ інтерметаліди. Корозійна стійкість сталі змінюється залежно від структури азотованого шару. Поверхневий “білий шар” може містити ϵ нітрид, γ' нітрид або двофазну суміш $\epsilon + \gamma'$, нижче зони дифузії. У кислотних розчинах нітриди заліза роз’їдаються повільніше заліза, і коли на поверхні сталі утворюється «біла зона», це підвищує корозійну стійкість сталі. На рис. 1.1 показана типова структура азотованої звичайної вуглецевої сталі [13].

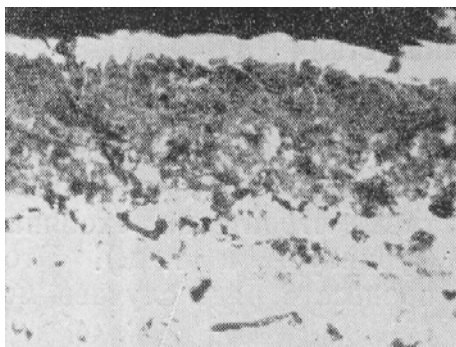


Рисунок 1.1 – Мікроструктура азотованої сталі 20 (x340).

Для азотування часто застосовуються, як правило, середньовуглецеві сталі, леговні елементами, що утворюють нітриди, такими як алюміній, хром, ванадій, вольфрам та молібден. Ці легуючі елементи корисні при азотування,

оскільки вони утворюють нітриди, стійкі при температурах азотування. Інші легуючі елементи, такі як нікель, кремній та марганець, не так важливі для характеристик азотованих дифузійних покриттів. Хоча леговані сталі здатні утворювати нітриди заліза в присутності азоту, властивості азотованого шару кращі у сталей, які містять один або кілька основних легуючих елементів, що утворюють нітриди.

Азотування в газовій фазі і плазмою є основними методами отримання азотованих дифузійних покриттів на сталях із широким промисловим застосуванням. Тривалість азотування може бути досить довгим, від 10 до 130 год залежно від необхідної товщини шару, зазвичай необхідно менше 0,5 мм. Азотування плазмою забезпечує швидший процес азотування, при якому швидко досягається насичення поверхні на основі активної дифузії азоту. Процес забезпечує чудовий контроль отриманої товщини білого шару, його складу та властивостей.

Азотування сталей в газовій фазі [12,14,15] - це хіміко-термічна обробка, яку проводять в середовищі аміаку, який дисоціює поверхні сталі при робочих температурах. Утворений атомарний азот адсорбується на поверхню сталі, і в залежності від температури та концентрації азоту утворюються нітриди заліза на поверхні сталі та деякому шарі під нею. Патент на азотування вперше подав Адольф Махлета і був для азотування заліза та сталі в атмосфері газового аміаку, розведеного воднем. При азотуванні сухим аміаком може бути використаний одно або двоступеневий процес. Температура одностадійного процесу, як правило, становить від 495 до 525 °C, і на ньому утворюється багата азотом сполучна зона у вигляді шару білого нітриду на поверхні азотованої сталі. Для успішного азотування необхідно контролювати потік газу, щоб на поверхню сталі постійно надходив свіжий аміак. Надмірне надходження азоту може призвести до утворення товстого шару нітридів заліза на поверхні сталі. Незалежно від деякої крихкості цей нітридний шар має дуже хорошу корозійну стійкість. Основна мета двоступеневого азотування - зменшити глибину білого шару на

поверхні сталі, але, за винятком зменшення кількості аміаку, що споживається на годину, використання двоступеневого процесу не має переваг, якщо товщина білого шару, утвореного при одностадійному азотування, не задовільняє на готовій деталі.

Азотування в газовій фазі, для поліпшення корозійної стійкості звичайних вуглецевих сталей і низьколегованих сталей, можна проводити з меншою тривалістю при підвищених температурах процесу насичення [13]. Метою є отримання на поверхні сталі нетравленого азотованого шару без пор товщиною приблизно 0,015 - 0,030 мм. У таблиці 1.1 наведені умови такого процесу для деяких вуглецевих сталей.

Таблиця 1.1 – Умови процесу азотування з метою поліпшення корозійної стійкості для звичайних вуглецевих сталей та автоматних сталей

Тип сталей	Температура, °C	Час, хв	Розчин аміаку, %
08, 10, 15, 20, 25, 40, 45, 50,	600	60 - 120	35 - 55
	600	45 - 90	45 - 65
A12, A15, A20	700	15 - 30	55 - 75

Азотування плазмою (іонне азотування) - це різновид хімікотермічної обробки, при якому забезпечується насичення поверхневого шару сталі азотною плазмою яка окремо або в поєднанні з іншими газами реагує на поверхні заготовки, утворюючи тверду та стійку до корозії поверхню на

різних сталях [12,15,16]. Процес реалізується на створенні газоподібної плазми в умовах вакууму. Гази можна вибирати в будь-якому співвідношенні, щоб забезпечити необхідний склад поверхневого шару, він може складатися лише з однофазної, двофазної або дифузійної зони. Поверхневою обробкою можна маніпулювати відповідно до застосування та сталі.

Іонне азотування має безліч переваг і підходить для багатьох застосувань, для яких неможливе застосування звичайних методів азотування. Отриманий азотований шар на сталі має порядок глибини 0,1 мм і вищу твердість ніж у поверхневих шарів, отриманих азотуванням у газовій фазі.

Процес азотування плазмою вимагає як водню, так і азоту на поверхні заготовки. Водень гарантує, що поверхня сталі буде без оксидів і хімічна реакція відбувається між іонами сталі та азоту. Неокислена поверхня дозволяє азоту швидко дифундувати в сталь і підтримує процес азотування. Основною перевагою процесу посиленій масообмін високоенергетичними іонами азоту на поверхні сталі під дією електричного поля. Кінетика іонів азоту в основній частині сталі контролюється твердотільною дифузією та осадженням нітридів.

Переваги азотування плазмою включають зменшений цикл азотування, хороший контроль товщини шару білого нітриду заліза, зменшення споживання газу, екологічність процесу, відмінну якість поверхні і зменшене короблення заготовки. Білий шар на поверхні азотованої іонами середньовуглецевої сталі містить переважно з γ' нітриду заліза з невеликою кількістю нітриду заліза. За допомогою контролю параметрів процесу може бути отриманий шар з однієї γ' нітридної фази. У таблиці 1.2 зроблено порівняння білошарових структур газо- та іонно-азотованої сталі [16].

Дослідження мікроструктури азотованої іонами сталі EN 31CrMoV9 показують, що на поверхні утворюється азотований білий шар, що

складається з ϵ -нітриду та γ' -нітриду рис. 1.3 [17].

Таблиця 1.2.1 – Порівняння структур білого шару газу та азотованих азотом іонів.

Тип азотування	Температура, °C	Час, хв	ϵ - нітрид, %	γ' - нітрид, %
Газове	540	30	10	90
	540	300	10	90
	540	720	20	80
Іонне	540	30	-	100
	540	300	-	100
	540	720	-	100

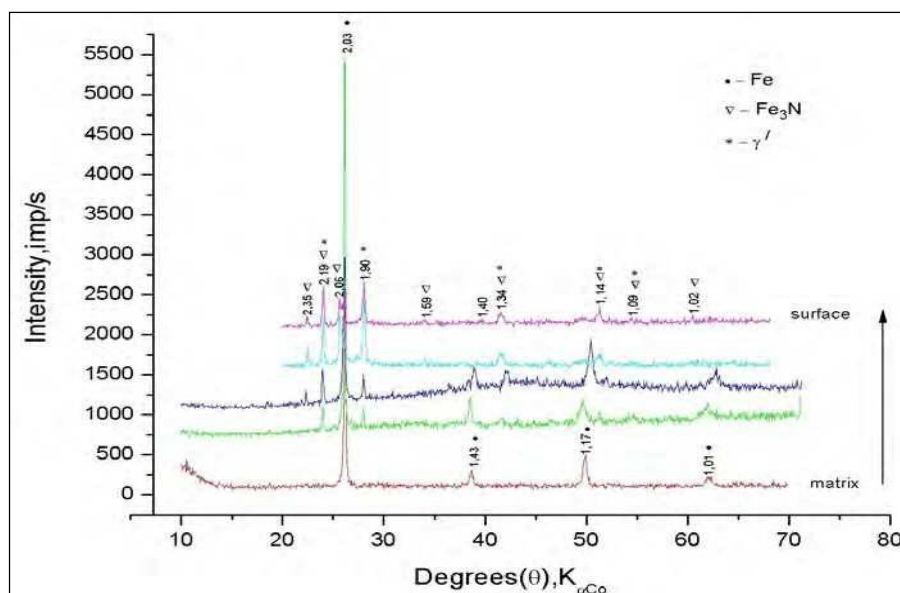


Рисунок 1.2 – Товщина нітриду отриманого на поверхні вуглецевої сталі білого кольору

Глибиною шар становить 10 - 12 мкм слідує за зоною дифузії 150 - 200 мкм з осадами нітридів 31CrMoV9. Мікротвердість шару білого нітриду становить близько 1050 - 1100 HV, що разом із покращеною стійкістю до корозії забезпечує високу зносостійкість.

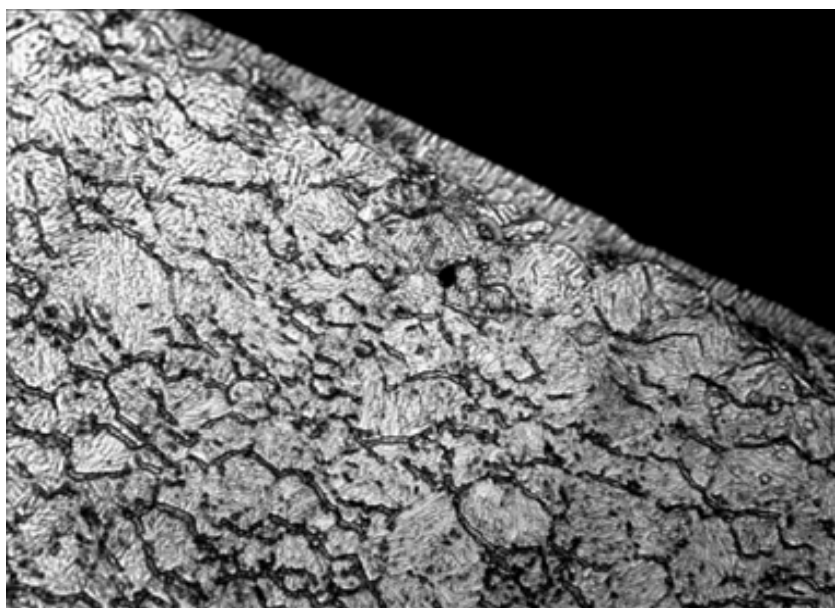


Рисунок 1.3 – Мікроструктура азотованої іонами поверхні сталі 31CrMoV9 (x600).

На відміну від звичайних вуглецевих сталей, корозійну стійкість нержавіючих сталей азотуванням можна знизити через руйнування поверхневого бар'єру оксиду хрому для забезпечення дифузії азоту в сталі.

Нержавіючі сталі виявляють загалом погані трибологічні властивості, через що така обробка, як азотування, може підвищити твердість поверхні та поліпшити зносостійкість. Для цього можна проводити іонно-плазмове азотування при температурах від 350 до 500 °C [18]. Даючи значне поліпшення зносостійкості, більш високі температури обробки, як правило, негативно впливають на корозійні властивості нержавіючих сталей в результаті утворення інтерметаліду CrN. Підвищена корозійна стійкість азотованих плазмою шарів на нержавіючих сталях спостерігається, коли

процес азотування здійснюється при більш низькій температурі (400 °C) з наявністю в шарі "S - фази", перенасиченому азотом аустеніту. Розширений шар аустеніту в азотованій сталі X18H9T має хорошу стійкість до корозійної стійкості в 1% розчині NaCl та еквівалентну однорідну стійкість до корозії в 1 N розчині H₂SO₄ порівняно з вихідною нержавіючою сталлю [19]

1.3 Дифузійні покриття, отримані боруванням

Борування - це хіміко-термічна обробка, яка передбачає дифузію бору в поверхню металу при високих температурах [11,13,20,21]. Процес насичення проводиться при температурах приблизно від 850 до 1050 °C, використовуючи тверде, рідке або газоподібне насичуюче середовище, багате бором.

Борування є ефективним методом для значного підвищення твердості поверхні, зносу та корозійної стійкості металів. Основною перевагою борованих сталей є те, що шари бориду заліза мають надзвичайно високі значення твердості між 1600 і 2000 HV. Типова твердість поверхні борованих вуглецевих сталей набагато більша, ніж у будь-яких інших звичайних методів поверхневого зміцнення.

Поєднання високої поверхневої твердості та низького коефіцієнта тертя поверхневого шару також забезпечує для таких дифузійних покриттів значну зносостійкість. Борування може значно підвищити корозійно-ерозійну стійкість чорних матеріалів у неокисляючих розведених кислотах та лужних середовищах і все частіше використовується з такою метою у багатьох промислових програмах. Важливо також, що боридні дифузійні покриття мають хорошу стійкість окисленню до 850 °C і досить стійкі до дії розплавлених металів.

На поверхні борованих сталей зазвичай утворюється шар сполук бору.

Це може бути однофазний або двофазний шар боридів з певним складом. Однофазний шар бориду складається з Fe_2B , тоді як двофазний шар складається із зовнішньої фази FeB і внутрішньої фази Fe_2B . Фаза FeB крихка і тверда, утворює поверхню під великим напруженням при розтягуванні і має більш високий коефіцієнт теплового розширення. Фаза Fe_2B є кращою, оскільки вона менш крихка і утворює поверхню з високим стискаючим напруженням, кращим напруженим станом для випадку з високою твердістю та низькою пластичністю. Незважаючи на те, що невеликі кількості FeB присутні в більшості шарів боридів, вони не є шкідливими, якщо вони не є безперервними. Безперервні шари FeB можна мінімізувати дифузійним відпалом після утворення боридів. На рис. 3.4 показана типова мікроструктура боридного шару на поверхні простої вуглецевої сталі [21].

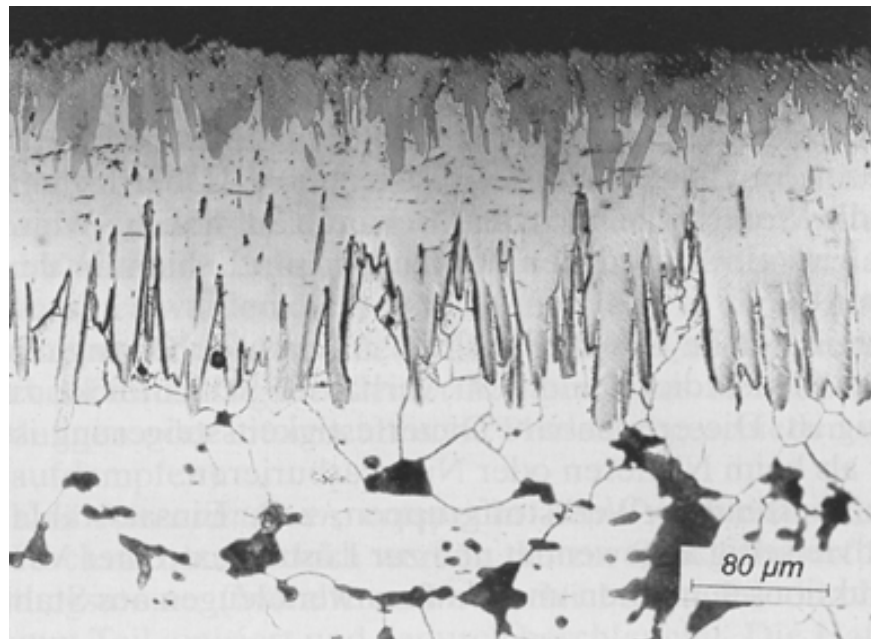


Рисунок 3.4 – Мікроструктура бороованого шару на сталі 20, що складається з FeB (темна) і Fe_2B (світла) фази.

Борування можна проводити на більшості чорних матеріалів, таких як звичайні вуглецеві сталі, низьколеговані сталі, інструментальні сталі, нержавіючі сталі, чавуни та спечені сталі. Існує безліч методів отримання

боридних дифузійних покриттів на поверхні сталі. Термохімічні методи борування включають:

- Борування в порошкових сумішах
- Термовакуумне осадження
- Борування рідинне без електролізу
- Борування в газовій фазі
- Борування з використанням паст
- Борування плазмою

Через екологічні проблеми застосування газового та рідинного борування має дуже обмежене застосування. Пакувальне насичення є найпоширенішим методом розточування з широким розвитком. Процес включає упаковку сталевих деталей у порошкову суміш із ферробору, аморфного бору або B_4C , флюсів та активаторів ($NaBF_4$, KBF_4 , $Na_2B_4O_7$) та нагрівання в термостійкому сталевому контейнері при температурі від 900 до 1050 °C протягом однієї-дванадцяти годин залежно від необхідної товщини шару. Зазвичай глибина шару, що насичується, становить від 0,05 до 0,25 мм для вуглецевих сталей та низьколегованих сталей та 0,025 до 0,080 мм для високолегованих сталей.

Борування з використання паст є привабливою методикою виготовлення боридних дифузійних покриттів на поверхні сталей, завдяки меншій вартості та меншим труднощам у порівнянні з наплавленням. Зазвичай його проводять у пасті з B_4C як насичуюче сереовище, Na_3AlF_6 як активатори, та зв'язуючому речовині для утворення паст. Температура процесу становить від 800 до 1000 °C, а нагрівання здійснюється переважно індуктивно або резистивно. Шар, що перевищує товщину 50 мкм, може бути отриманий після індуктивного або резистивного нагрівання до 1000 °C протягом 20 хв. Взаємозв'язок між товщиною боридного шару та часом отриманого для заліза та сталі, борованою пастою на основі B_4C - $Na_2B_4O_7$ - Na_3AlF_6 при температурі 1000 °C, показано на (рис.1.5).

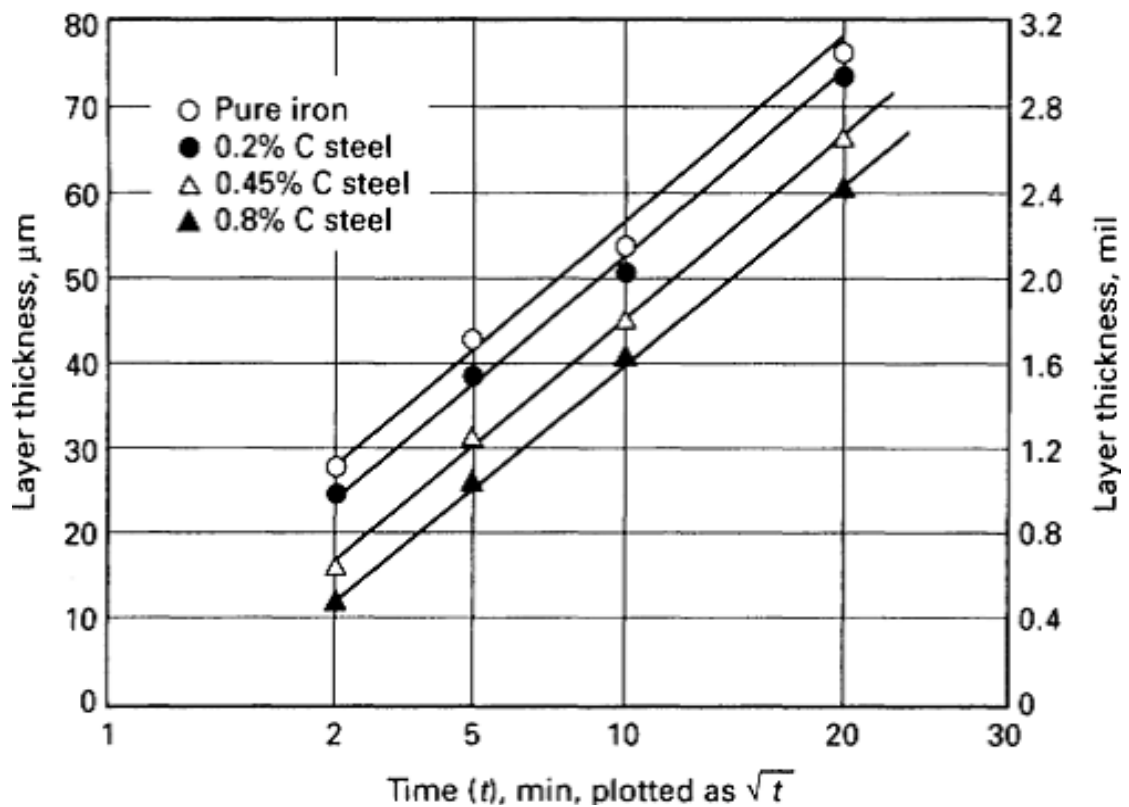


Рисунок 1.5 – Взаємозв'язок між товщиною боридного шару та часом для заліза та сталі, борованих пастою на основі $B_4C-Na_2B_4O_7-Na_3AlF_6$ при $1000\text{ }^{\circ}C$.

Насичення газом та плазмою здійснюється у сумішах $B_2C_6-H_2$ або BCl_2-H_2 , які є високотоксичними, також існують проблеми з вибухонебезпечністю газової атмосфери. В результаті ці методи не отримали комерційного визнання. Борування плазмою має деякі переваги, головним чином нижча температура термохімічного процесу близько $650\text{ }^{\circ}C$ та зменшення тривалості.

Занурення з псевдозрідженим шаром - це недавнє нововведення в галузі технологій розточування. Він здійснюється в спеціальній ретортівій печі і включає матеріал шару з грубих частинок карбиду кремнію, спеціальний порошок бориду та атмосферу безкисневого газу із газової суміші азоту та водню. Процес має кілька переваг, він може бути адаптованим до постійного виробництва та має низькі експлуатаційні

витрати, завдяки скороченню часу обробки та енерговитрат для масового виробництва борованих деталей.

Дослідження, присвячені розробці порошкових сумішей, показують, що можна змінити традиційний тип і кількість активатора та забезпечити успішний процес дифузії з високою якістю отриманих боридних шарів. Склади порошкових сумішей складали від 55% B_4C ; 1-3% $NaBF_4$ або Na_3AlF_6 та розчинник Al_2O_3 .

Сталь 60 при 950 °C і тривалість від двох до шести годин. Результати показують, що можна замінити традиційний для процесу $NaBF_4$ на недорогий Na_3AlF_6 як активатор, і кількості 3% достатньо для забезпечення боридного шару з необхідною товщиною, структурою та твердістю. На рис. 1.6 наведені структури борованої поверхні сталі С60, отримані протягом 2 і 6 год у порошковій суміші, що містить 3% Na_3AlF_6 . Рентгенографічний аналіз показує, що шари боридів складаються переважно з Fe_2B з невеликою кількістю FeB . Мікротвердість боридних дифузійних покриттів становить 1600 - 1800 HV [22].



Рисунок 1.6 – Мікроструктура боридних шарів на сталі Ст60, отримана протягом 2 (а) та 6 (б) годин, упакована при 950 °C у порошковій суміші, що містить 3% Na_3AlF_6 (x150).

Боровані сталі мають вищу корозійну стійкість разом з високою

твердістю та зносостійкістю. На рис.1.7 наведено порівняння корозійної стійкості 0,45% С звичайної вуглецевої сталі до і після борування [23].

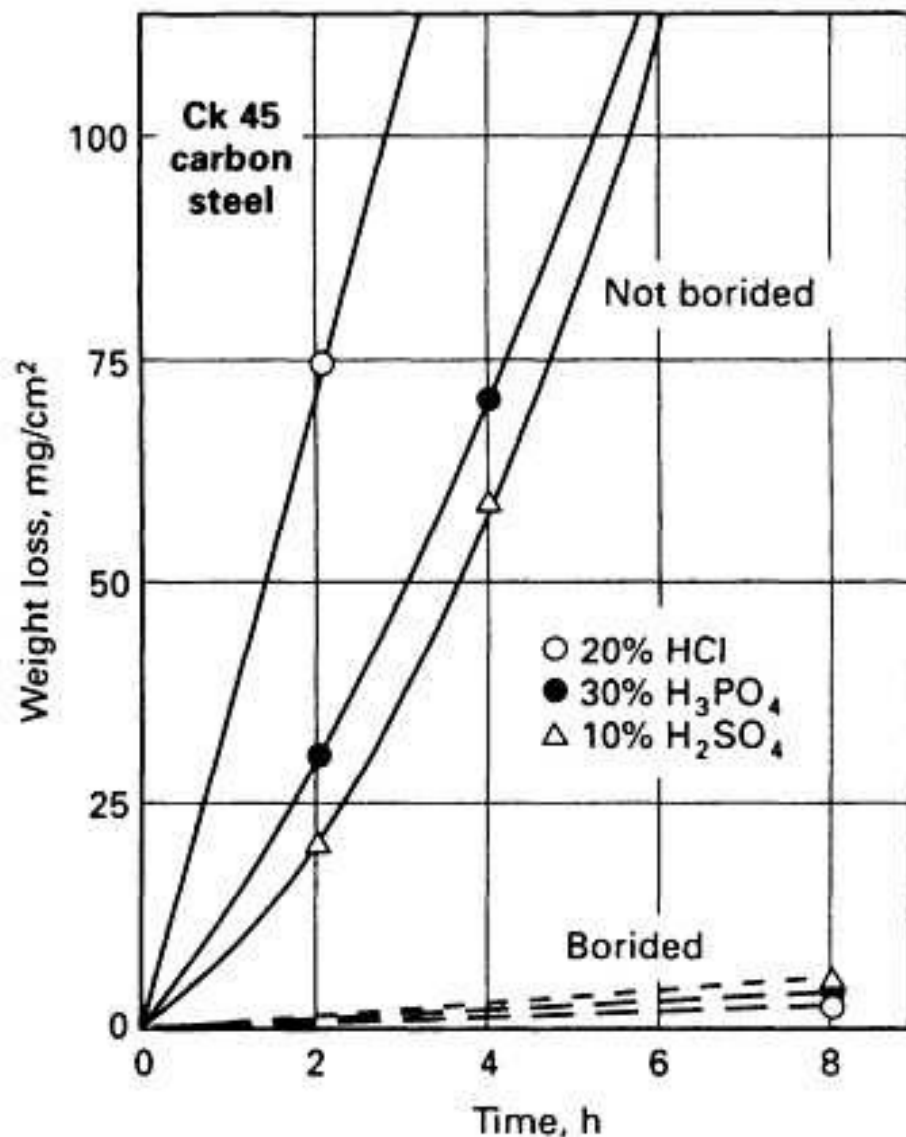


Рисунок 1.7 – Корозійний ефект мінеральних кислот на боронізовану та неборонізовану сталь 45).

Після борування швидкість корозії борованої низьковуглецевої сталі AISI 1018 аналог сталь(06XH28МДТ) приблизно в 100 разів нижча, ніж швидкість корозії неборонізованої на основі електрохімічних досліджень [24]. Бована високоміцна легована сталь AISI 4340 аналог (40X2H2MA) та аустенітна нержавіюча сталь AISI 304 аналог (08X18H10) мають швидкість корозії приблизно в кілька разів нижчу, ніж швидкість корозії неборонізованих

сталей. Порівняння між боронізованою та неборонізованою сталлю AISI 1018 аналог сталь 20 показано на рис. 1.8.

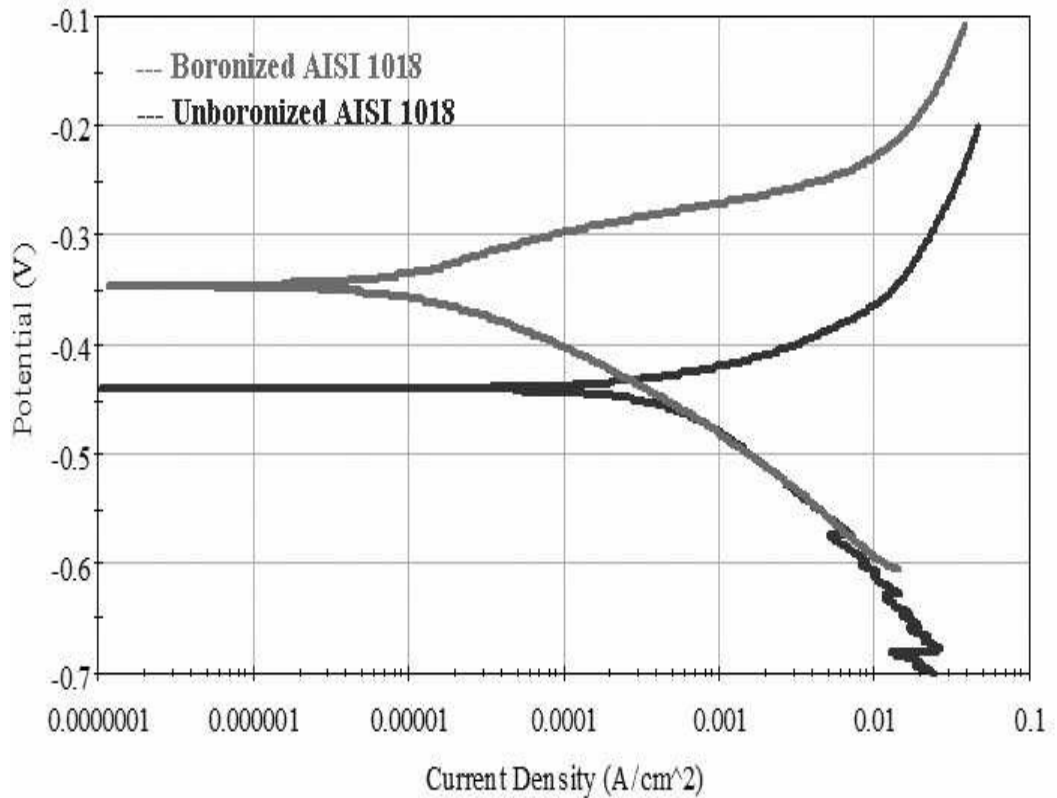


Рисунок 1.8 – Порівняння борованої та неборованої низьковуглецевої сталі AISI 1018(Ст15).

Після борування сталь стає більш благородною і має нижчу швидкість корозії, ніж неборонізована, що доводить, що стійкість до корозії боронованих сталей покращується [22].

1.4 Дифузійні покриття, отримані карбонітрируванням та нітрокарбуруванням

Карбонітридування та нітрокарбонізація - це ті термохімічні обробки, які передбачають дифузійне додавання як вуглецю, так і азоту на поверхню сталей для виробництва дифузійних покриттів із визначеною структурою та

властивостями [11,23,25]. Карбонітрування - це модифікована форма газоутворення в газовому середовищі, а не форма азотування. Модифікація полягає у введенні аміаку в атмосферу вуглецевого газу для додавання азоту до вуглецевого корпусу під час його отримання. Зароджується азот утворюється на поверхні сталі шляхом дисоціації аміаку в атмосфері печі і дифундує одночасно з вуглецем. Як правило, карбонітрування проводиться при більш низьких температурах і коротших часах, ніж цементация газом, утворюючи більш дрібний корпус, ніж зазвичай у виробництві вуглецювання. Діапазон температур для процесу зазвичай становить 750 - 950 °C, а властивості одержуваного дифузійного покриття подібні до властивостей, отриманих при вуглецюванні. Після чергової термічної обробки вони мають високу твердість і зносостійкість, але посилення корозійної стійкості не обов'язково. Для поліпшення корозійної поведінки сталей карбонітрування слід проводити при більш низьких температурах близько 700 °C для отримання на поверхні шару карбонітридного з'єднання. У цьому випадку термохімічний процес перетворюється на нітрокарбонізацію. Нітрокарбонізація, як визначення, - це хіміко-термічна обробка, що застосовується до чорного предмета з метою збагачення поверхні азотом і вуглецем, які утворюють складний шар.

Ця техніка має широке застосування в промисловості і здійснюється як газоподібний, плазмовий та рідкий процеси. Існує тенденція до обмеження рідинного процесу через його токсичність та екологічні проблеми. На основі температурного діапазону термохімічної обробки нітрокарбонізацію можна класифікувати як:

- Феритна нітрокарбонізація
- Аустенітна нітрокарбонізація

Ферритна нітрокарбонізація - це така хіміко-термічна обробка, яка проводиться при температурах, повністю перебуваючих у полі феритової фази. Основною метою таких обробок є, як правило, поліпшення

характеристик проти обдирання деталей інженерних металів за допомогою вироблення на поверхні складного шару, який має хороші трибологічні характеристики. Крім того, характеристики втоми можуть бути значно покращені, особливо коли азот утримується у твердому розчині в зоні дифузії під шаром сполуки. Зазвичай це досягається загартуванням в олії або воді з температури обробки, зазвичай 570 °C. Отриманий при цих температурах складний білий шар забезпечував підвищення корозійної стійкості нітрокарбонизованої поверхні. Складовий шар, отриманий ферритним нітрокарбонізацією, складається переважно з γ -карбонітриду через низьку розчинність вуглецю в нітриді. На рис.1.9 показана типова мікроструктура нітрокарбонизованої поверхні низьковуглецевої сталі [25].



Рисунок 1.9 – Мікроструктура нітрокарбонизованої сталі 20 при 570 °C протягом 2 годин.

На комерційних засадах після нітрокарбонізаційного окислення застосовувались для підвищення естетичних властивостей газоподібних нітрокарбонизованих компонентів. Однак доведено, що ці додаткові методи покращують втому, зносостійкість та стійкість до корозії сталевих поверхні і можуть бути успішно поєднані для цієї мети.

Коли температура обробки така, що часткове перетворення матриці в аустеніт відбувається шляхом збагачення азотом, тоді обробка називається аустенітним нітрокарбонізацією. При аустенітному нітрокарбонізації

поверхня перетворюється на залізо-вуглецево-азотний аустеніт, який згодом перетворюється на загартований мартенсит і бейніт з твердістю в діапазоні від 750 до 900 HV. Витримування складного шару з карбонітриду на поверхні нітрокарбонированої сталі разом із трансформованою поверхнею після процесу нітрокарбонізації при температурах близько 700 °C забезпечують підвищення стійкості до обробки оброблюваних деталей разом з високою корозією та зносостійкістю.

Типова товщина трансформованого аустеніту становить від 50 до 200 мкм. Однак набагато глибших випадків можна досягти, застосовуючи попередньовуглецеву обробку перед нітрокарбонізацією.

1.5 Дифузійні покриття з високою корозійною стійкістю на металевій основі

Дифузійні покриття на металевій основі для поліпшення корозійної стійкості сталей мають широке промислове застосування. Основною метою термохімічної обробки в цьому випадку є утворення на поверхні сталі шару з металію з високою корозійною стійкістю, їх твердого розчину в металевій матриці або їх сполук. Металами, які зазвичай використовують для цієї термохімічної обробки, є хром, алюміній та цинк.

Хромування - це процес поверхневої обробки сталей та сплавів за для утворення хромізованого шару на металах та сплавах для термо-, корозійної та зносостійкості [13,14,20]. Ця методика застосовується головним чином для різних типів сталей та чавунів, але вона також представляє інтерес для поверхневої модифікації нікелю, молібдену, вольфраму, кобальту та їх сплавів. Хромовані сталі забезпечують значно поліпшену стійкість поверхні до корозії та окислення і можуть успішно працювати в складних умовах, поєднуючи знос, високу температуру, корозію, ерозію та кавітацію.

Якщо звичайна вуглецева або легована сталь для хромування містить

вуглецю більше 0,4%, на поверхні утворюється корозійний та зносостійкий шар складів із Cr_{23}C_6 та Cr_7C_3 товщиною 0,01 - 0,03 мм. На сталях з низьким вмістом вуглецю компактний шар карбідів хрому не може бути сформований, але через високу розчинність хрому в залізі на поверхні сталі утворюється твердий розчин із вмістом хрому до 60%, що забезпечує високу корозійну стійкість дифузії шар. Існує безліч методів отримання дифузійних покриттів хрому на поверхні сталі, таких як газоподібне, рідинне, пакування та вакуумне хромування, але лише вакуумні та пакувальні процеси розробляються як технології термохімічної обробки з широким промисловим застосуванням.

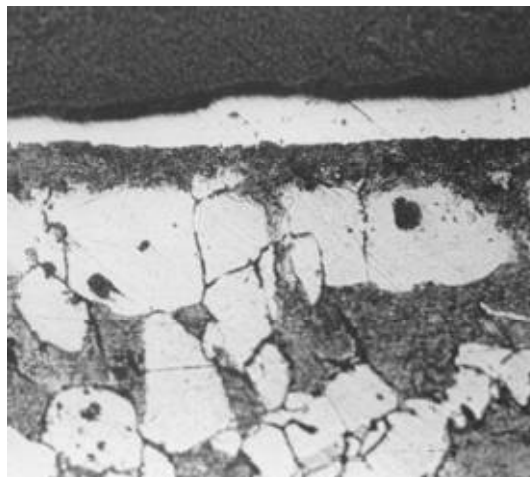
Пакувальне хромування часто надають перевагу через його легко оброблюваних умов і низької вартості. Компоненти, що підлягають хромізації, упаковані дрібним порошком хрому та добавками. Типова хромізуюча суміш складається з 60 відсотків порошку хрому або феррохрому, до 2 відсотків галогенідної солі як активатора та близько 38 відсотків оксиду алюмінію як інертного наповнювача. Процес проводять при 900 - 1050 °C протягом 6-12 годин.

Хіміко-термічна обробка алюмініюючою цементною упаковкою також має найбільш широко застосовуване виробництво алюмінієвих дифузійних покриттів. Процес комерційно практикується для широкого спектра металів та сплавів, включаючи звичайні вуглецеві сталі, низьколеговані сталі та високолеговані сталі, чавуни, суперсплави на основі нікелю та кобальту.

Зразки алюмінідних покриттів мають високу корозійну стійкість і протистоять високотемпературному окисленню шляхом утворення захисного шару оксиду алюмінію і можуть використовуватися приблизно до 1000 °C. Порошкова суміш для алюмініювання упаковки зазвичай складається з приблизно 50% алюмінію або фреоалюмінієвого порошку, 1 - 2% NH_4Cl як активатора та приблизно 48% оксиду алюмінію як інертного наповнювача.

Як і інші процеси пакувальної цементації, техніка алюмінізування складається з упаковки сталевих деталей у порошкову суміш та нагрівання в

термостійкій сталевій коробці при температурі від 800 до 1100 °С протягом трьох-п'ятнадцяти годин, залежно від типу сплаву та необхідного шару товщина. Алюмінізовані дифузійні покриття на звичайних вуглецевих сталях і низьколегованих сталях зазвичай мають товщину приблизно 0,05 - 0,8 мм і являють собою білий шар зі складним складом з алюмінідів заліза (Fe_3Al , FeAl , FeAl_2 і Fe_2Al_5) з високою стійкістю до корозії та окислення та твердих речовин розчин алюмінію в α -залізі [13,14,20].



а



б

Рисунок 1.10 – Дифузійні покриття на сталі 45, отримані хромуванням (а) $\times 150$ та алюмінінуванням (б) $\times 250$.

Цинкові дифузійні покриття є традиційним методом захисту від корозії сталей з великим практичним значенням і широким промисловим застосуванням [26]. Цинк має ряд характеристик, які роблять його підходящим антикорозійним покриттям для металевих виробів у більшості середовищ. Відмінна ефективність цинкових покриттів зумовлена їх здатністю утворювати щільні прилипають плівки продуктів корозії та швидкістю корозії, значно нижчою, ніж у чорних матеріалів. Доступно багато різних типів цинкових покриттів, кожен з яких має унікальні характеристики, які впливають не тільки на придатність, але й на відносну економіку та очікуваний експлуатаційний сервіс. Гаряче цинкування та шерагування є основними методами термохімічної обробки для отримання

дифузійних покриттів цинку на поверхні сталі.

Процес гарячого цинкування, також відомий як загальне цинкування, виробляє цинкове покриття на металевих виробах шляхом занурення матеріалу у ванну з рідким цинком. Перед нанесенням покриття сталеву поверхню очищають, щоб видалити всі оливи, жири, ґрунт, накип та іржу. Оцинковані покриття застосовуються на безлічі матеріалів, що мають різні розміри - від дрібних деталей, таких як гайки, болти та цвяхи, до дуже великих структурних форм. Процес зазвичай проводять при 440 - 470 °C протягом 1 - 10 хвилин, і в результаті отримують дифузійне покриття цинку, яке складається з ряду шарів цинково-залізних шарів з FeZn_{13} (ξ – фаза), FeZn_7 – FeZn_{10} (δ -фаза), $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ (Γ_1 -фаза) з поверхневим шаром твердого розчину заліза в цинку (η -фаза) або чистому цинку.

Шерардизація - це процес дифузії, при якому сталеві деталі нагріваються в присутності цинкового пилу або порошку в інертному середовищі. Оксид алюмінію або пісок у кількості 20% додають до порошку цинку як інертний наповнювач, а в якості активатора використовують 1-2% галогенідні солі. Термохімічну обробку можна проводити у реторті, обертаному барабані або у процесі упаковки при температурі від 350 до 500 °C протягом трьох-дванадцяти годин. Структура отриманого шару така ж, як структура на поверхні сталі після гарячого цинкування товщиною близько 50 - 400 мкм.

1.6 Нанесення покриттів на нікель із суміші порошків нітриду титану, хлористого амонію та оксиду алюмінію.

Алюмохромотитаносиліціювання – одночасне або послідовне насичення сплавів алюмінієм, хромом і кремнієм та титаном, які використовуються переважно для підвищення жаро – ерозійної стійкості. Одночасне насичення стількома елементами – це більш складна задача, ніж насичення двома елементами, тому, що вони мають різну дифузійну

рухливість в насичуючій основі, можуть взаємодіяти між собою, утворюючи стійкі з'єднання і, на кінець, мають різну спорідненість з галоїдами при утворенні газових сумішей [14].

Проведені дослідження показали доцільність використання в якості зв'язки нікелю. При нанесенні методом хімічного осадження з газової фази шару TiN на кобальт формуються щільні стовпчасті покриття. При обробці залізної підложки має місце сильна корозія основи при утворенні в газовій фазі сполуки FeCl_x . підвищення температури осадження супроводжується зростанням травимості залізної підложки.

Осадження нітрида TiN на нікель ускладнюється формуванням дифузійної зони за участю інтерметаліду Ni_3Ti . Осадження TiN відбувається після повного закриття поверхні нікеля шаром Ni_3Ti . Вважають, що присутність під шаром TiN шару Ni_3Ti негативно впливає на ріжучі властивості твердого сплаву.

Метод нанесення нітриду TiN на нікель з газової фази є добре досліджений [1,3,4,5]. Були проведені дослідження по осадженню TiN на кілька кандидатів на зв'язуючу фазу (нікелт, олово, нержавіюча сталь , тощо). При дослідженні адгезії покриття з основою з використанням різних зв'язок (Fe,Ni,Co) було встановлено, що твердий сплав з кобальтом мав кращу адгезію до покриття [3].

Метою роботи є отримання дифузійного покриття на нікелі з суміші порошків підвищення , корозійної зносо стійкості нікелевої основи

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1 Матеріали

В роботі були досліджені фазовий та структурний склад, розподіл елементів за товщиною покриття, структура, мікротвердість. Отримані результати можуть бути використані для розробки методів нанесення покриттів на тверді сплави, де нікель був використаний в якості зв'язки, а щетакож сплави за участю нікелю. Зразки чистого нікелю марка м0 ГОСТ 849 – 2008 використовували з метою визначення впливу насичуючого середовища на результат ХТО у суміші порошків титана, нітрида кремнію(Si_3N_4), хлористого амонію(NH_4Cl), оксида алюмінію(Al_2O_3).

В якості об'єкта досліджень були використані зразки карбонільного нікелю, які містять 95,5% нікелю 0,3% заліза, 0,2% мас.кобальта. Хіміко термічну обробку здійснювали порошковим методом у контейнерах з плавким затвором. Контейнер був виготовлений із сталі 12X18H10T.

2.2 Методика нанесення покриттів

Хіміко термічну обробку здійснювали порошковим методом у контейнерах з плавким затвором. Контейнер був виготовлений із сталі 12X18H10T. До складу порошкової насичуючої суміші входили титан (5%), нітрид кремнію (Si_3N_4) (45%), хлористий амоній(NH_4Cl) (5%). Насичення проводили при температурі 1000-1050 С впродовж 1-4 годин.

2.3 Металографічний аналіз

Металографія дослідження - це комплекс випробувань і аналітичних заходів, спрямований на вивчення макроструктури і мікроструктури металів, дослідження закономірності утворення структури і залежностей впливу структури на механічні, фізико - механічні, електричні та інші властивості металу [27].

Металографічні методи дослідження металів і зварних з'єднань дозволяють визначити розміри, форму і взаємне розташування кристалів, а також неметалеві включення, тріщини, раковини, пори, свищі і т. д. [].

Розрізняють макроскопічний і мікроскопічний методи вивчення будови металів. Макроскопічний метод - дослідження будови металів і зварних з'єднань неозброєним оком або із застосуванням лупи, що дає збільшення в 5-30 разів. Макроаналіз дає можливість виявляти раковини, шлакові включення, порушення суцільності металу, тріщини та інші дефекти будови сплаву, хімічну і структурну неоднорідність [27].

Мікроскопічний аналіз металів полягає в дослідженні їх структури за допомогою оптичного або електронного мікроскопів, на спеціально підготовлених зразках. Методами мікроаналізу визначають форму і розміри кристалічних зерен, виявляють зміни внутрішньої будови сплаву під впливом термічної обробки або механічного впливу на сплав, мікротріщини і багато іншого (27).

Оскільки всі метали непрозорі, то їх будову можна досліджувати на зламах або спеціально підготовлених шліфах. Дослідження будови методом фактографії по зламах часто застосовують при аналізі причин руйнування деталей машин, апаратів і елементів сталевих конструкцій. Макроструктурний метод використовується також для орієнтовного визначення глибини загартованої зони інструментальних сталей, глибини цементованого шару і т. д. [27].

Вивчення макроструктури металу зазвичай проводять на спеціально підготовлених шліфах. У цьому випадку деталь або виріб розрізають. Поверхня, яку необхідно дослідити, ретельно обробляють під площину на металорізальному верстаті. Якщо деталь розрізали за допомогою газового пальника, то необхідно знімати весь шар металу, в якому відбулася зміна структури в результаті нагрівання полум'ям пальника. Зазвичай глибина цього шару для сталей, що застосовуються в котло-і турбінобудуванні, не перевищує 10-12 мм. Потім поверхню слід відшліфувати на плоскошліфувальному верстаті і наждачним папером. Для виявлення структури металу його необхідно піддати тому, що труїть. У процесі травлення кристали розчиняються з різною швидкістю, так як вони по-різному орієнтовані щодо досліджуваної поверхні. Властивості ж кристалів, в тому числі і розчинність в хімічних реактивах, різні в різних напрямках. Межі між кристалами містять підвищений відсоток домішок, тому вони розчиняються швидше кристалів. Іноді травленням отримують різне забарвлення структурних складових сплаву. Тому в результаті травлення можна отримати чітку картину кристалічної будови металу [27].

Травитель сильніше роз'їдає тріщини, заковані плени, пористі ділянки і слабкіше - основний метал [27].

У процесі металографічного дослідження виявляють макро-і мікроскопічні дефекти: тріщини, пори, шлакові включення, а також встановлюють структуру металу [27].

Зразок для металографічного дослідження вирізають із зварного з'єднання-поперек осі шва. Зразок повинен включати в себе як шов, так і зону термічного впливу [27].

Допускаються видимі неозброєним оком дрібні пори і шлакові включення в кількості не більше п'яти штук на 1 см² площі поперечного перерізу. Максимальний лінійний розмір окремого дефекту за найбільшою протяжності не повинен бути більше 1,5 мм, а сума максимальних лінійних розмірів всіх дефектів - не більше 3 мм [27].

Мікроскопічний аналіз будови металів дозволяє спостерігати безпосередньо їх будову при збільшенні до 2000 разів. Зазвичай користуються збільшенням від 100 до 800 разів [27].

Вивчення структури металу проводять за допомогою мікроскопа у відбитому світлі. Зразок металу ретельно обробляють під площину на металорізальному верстаті, шліфують і полірують. Після такої підготовки він відбиває промені як дзеркало. На не труєному шліфі видно тріщинки, пори, неметалеві включення. Щоб виявити межі зерен і окремі структурні складові, шліф травлять. Для травлення мікроструктури сталі і зварних з'єднань часто застосовують 3-5%-ий розчин азотної кислоти в спирті [27].

Дослідження і фотографування мікроструктури проводять за допомогою спеціального стаціонарного металографічного мікроскопа. На рисунку 2.2, а показаний мікроскоп Neophot 21 представляє собою, інвертований фотомікроскоп відбитого світла, призначеного для металографічної мікроскопії. З комп'ютеризованою системою відтворення результатів [27].

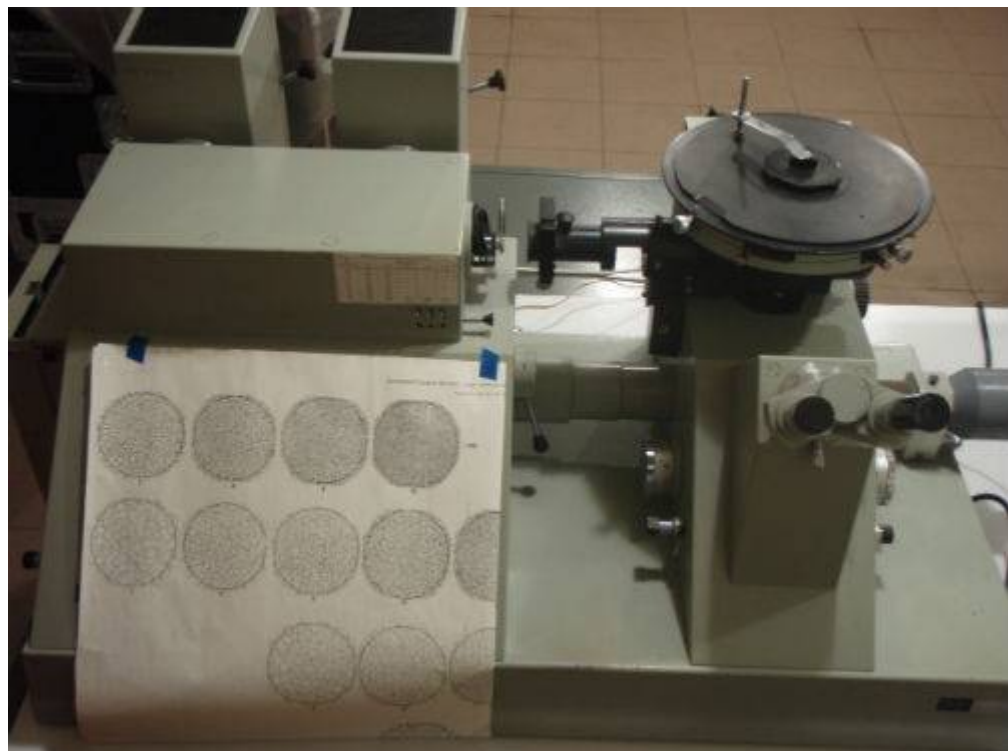


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мікроскопу Neophot 21

Прилад «Neophot21» відноситься до оптичних мікроскопів відбитого світла [28,29]. Він має кілька оптичних виходів і перші два з них (для біноклярного спостереження і великоформатної фотозйомки) дозволяють отримувати оптичні збільшення до 2000 разів. Мікроскоп також має третій вихід для насадки мало і середньо форматних фото пристроїв. На цьому виході можна отримати проміжне зображення з збільшенням в 200 разів. У площині цього проміжного зображення за допомогою саморобного циліндричного перехідника, прикріпленого безпосередньо до виходів для мало і середньо форматних фото пристроїв мікроскопу, розташована ПЗС – матриця цифрової фотокамери (ц. ф. к.).

У якості цифрової фотокамери використовувалась недорога камера «VolkanoDS – 816A», призначена як для автономної фотозйомки так і для застосування в складі ПК. В останньому випадку вона підключається до комп'ютера через USB – порт і дозволяє записувати відео в форматі 320x240 пікселів при 24 кадрах в секунду. В режимі фотографування камера дозволяє отримувати знімки у форматі до 800x600 пікселів. Розмір ПЗС – матриці камери по діагоналі складається 1/3 дюйма (4,98x6,64мм). Таким чином, можна порахувати розмір елементарної чутливої комірочки (пікселя) ПЗС – матриці цифрової камери – 8,3x8,3 мкм. Якщо прийняти, що розширення мікроскопу складає 0,4 мкм, то при збільшенні зображення в 100 разів відстань між точками розширення складе більше 40 мкм, де будуть укладатися близько 5 пікселів приймальної світлочутливості камери. Отже, застосування зазначеної фотокамери дозволяє передавати збільшене в 100 разів оптичне зображення в ПК без погіршення роздільної здатності мікроскопу. Подальше збільшення зображення до розмірів, зручних для розглядання, досягається за рахунок «проекування» відеосигналу з ПЗС –

матриці на екран монітора ПК. При цьому загальне збільшення може скласти більш ніж у дві тисячі разів [28,29].

Програмне забезпечення, що постачається разом з ц.ф.к., дозволяє передавати збільшене зображення мікроскопу в пам'ять комп'ютера в двох форматах AJPGiABYR. Причому, формат AJPG стискає зображення (в деяких випадках при цьому втрачається якість), в той час як формат ABYR дозволяє передавати зображення в ПК без стиснення. Розмір світло прийомної частини ПЗС – матриці можна вибрати з наступного ряду: 160x120, 176x144, 320x240, 352x288, 400x300, 640x480, 800x600 пікселів. У формуванні зображення бере участь вся світло прийомна частина ПЗС – матриці площею 4,94x6,64 мм². Програмне забезпечення має необхідне меню для управління яскравістю, контрастністю, кольором і т.д. Можливе отримання чорно-білих, так і кольорових зображень. Отримані зображення програма автоматично зберігає в форматі JPG, а також є можливість зберігати в інших форматах (BMP, TIF, GIFi ін.). Мінімальні апаратні вимоги для роботи з цією програмою наступні: Pentium166 або вище, 32 Мб пам'яті, USB– порт, 16-біт монітор CD-ROM, 300 Мб на жорсткому диску [28,29]

На теплових електростанціях необхідно проводити контроль за структурою металу паропроводів як у вихідному стані, так і після різних термінів експлуатації. Такий контроль здійснюють за зразками, вирізаним з паропроводу, за допомогою переносних мікроскопів, які встановлюються безпосередньо на паропроводі, а також за допомогою відбитків [30].

У разі використання двох останніх способів відпадає необхідність у вирізці для металографічних досліджень зразків з паропроводу. Готується шліф безпосередньо на трубі (на об'єкті дослідження). Окалина та поверхневий знеуглецьований при термічній обробці шар металу глибиною 0,5-1 мм знімаються за допомогою переносного наждачного круга, який приводиться в обертання від пневматичного або електричного приводу [30].

Підготовка мікрошліфа: обробка поверхні проводиться послідовно трьома колами: грубозернистим електрокорундовим, дрібозернистим

електрокорундовим з вулканитовою зв'язкою і повстяним або фетровим, покритим пастою ГОІ на половині кола по ширині. Якщо відсутнє дрібнозернисте коло, то тонку шліфовку проводять за допомогою шкірки вручну. При переході від одного кола на інший напрям обробки змінюється на 90 °. При цьому легше виводяться ризики від попереднього кола. При поліруванні пастою ГОІ її залишки знімаються чистою половиною повстяного або фетрового кола [30].

Підготовлена поверхня шліфа знежирюється ватним тампоном, змоченим етиловим спиртом [30].

Травлення проводять найчастіше 4%-им розчином азотної кислоти в спирті. Для кращого виявлення мікроструктури, процес полірування і травлення зазвичай повторюють кілька разів [30].

Підготовлений таким чином шліф можна вивчати або безпосередньо на об'єкті за допомогою переносного оптичного мікроскопа, або, знявши зліпок зі шліфа і досліджуючи вже його за допомогою стаціонарного мікроскопа, в лабораторії [30].

2.4 Рентгеноструктурний аналіз

В основу рентгеноструктурного аналізу покладено явище дифракції рентгенівських променів на кристалічній ґратці відкрите в 1912 р. М Лауе і його колегами В. Фрідріхом та П. Кіппінгом у вигляді так званого інтерференційного рівняння Лауе, яке у векторній формі має вид:

$$(S - S_0)/\lambda = H \quad (2.1)$$

Тут S_0 – одиничний вектор падаючого променя S – одиничний вектор променя, розсіяного в напрямку інтерференції, λ – довжина хвилі, H – вектор, перпендикулярний до деякого сімейства площин

(hkl) в оберненій ґратці кристаллу, причому довжина його пов'язана з міжплощинною відстанню цього сімейства (d_{hkl}) співвідношення $|H| = n/d_{hkl}$, де n – ціле (порядок відбиття) [31,32,33,34]

За допомогою оберненої ґратки легко проаналізувати виникнення дифракційних піків у випадку монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ . Якщо S_0 та S вектори падаючого та дифрагованого пучків в оберненому просторі, то сукупність кінців векторів оберненої ґратки, які сановають різницю ходу цих пучків, лежатиме на сфері з радіусом λ^{-1} . Ця сфера називається сферою відбиття або сферою Евальда (рис. 2.6). Умовою виникнення дифракційного піку з індексами hkl є перетин сферою Евальда вектора H_{hkl} оберненої ґратки [31,32,33,34].

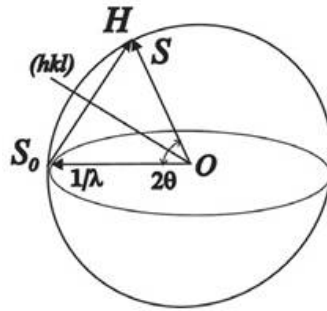


Рисунок 2.6 – Сфера Евальда радіусом λ^{-1} в оберненій ґратці кристаллу.

Вектори S/λ , S_0/λ і H утворюють векторний трикутник ΔOSS_0 (рис. 2.6), кут між векторами S і S_0 називається кутом розсіювання (2θ). Виходячи з векторного рівняння (2.2), шляхом простого геометричного розгляду ΔOSS_0 можна отримати скалярне рівняння:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (2.2)$$

Виходячи з припущення, що рентгенівські промені можуть відбиватися від кристалографічних площин аналогічно відбиттю видимого світла від дзеркальних поверхонь з виконанням законів

геометричної оптики, російські вчені Вульф і, незалежно від нього, англійці батько і син Брегг також вивели це скалярне рівняння в 1913 році, яке одержало назву рівняння Вульфа – Брегга [35].

Аналіз фаз на ДРОН УМ-1. Фокусування по Бреггу-Брентано. Проводили лінійну ідентифікацію для якісного та кількісного аналізу. Інтенсивність ліній різноманітна.

Закон Вульфа-Брегга при куті 2θ .

Дифрактограми знімали за стандартною методикою крокового сканування 0,08 і 9 секунд.

Програмний пакет Powder Cell 2.4 [36]. Дифрактограми порівнювали з еталоном,.

2.5 Мікрорентгеноспектральний аналіз

Мікрорентгеноспектральний аналіз був проведений на електронному мікроскопі JSM – 6490L.

. Структура, хімічний склад покриттів виконували на електронних мікроскопах. [27].

Мікроскоп електронний растровий JSM – 6490LV призначений для виміру лінійних розмірів мікрорельєфу твердих структур [37]

JSM-6490LV – це високопродуктивний скануючий електронний мікроскоп з високою роздільною здатністю 3,0 нм. Режим низького вакууму (доступ до якого можна клацнути мишею) дозволяє проводити спостереження за зразками, які неможливо розглянути при високому вакуумі через надмірний вміст води або через непровідну поверхню. Його асинхронна п'ятивісна механічно-евцентрична ступінь із комп'юцентричним обертанням та нахилом може вмістити зразок діаметром до 8 дюймів. Стандартні автоматизовані функції включають автофокус /

автоматичний стигматор, автоматичний пістолет (насиченість, зміщення та вирівнювання) та автоматичну контрастність та яскравість [37]

Принцип роботи мікроскопу оснований на взаємодії електронного пучка з поверхні об'єкту. Електронний промінь неперервно сканує ділянку поверхні об'єкту, зображення якого формується мікроскопом. При цьому кожна точка поверхня об'єкту, в границях поля зору мікроскопу, відображується відповідною точкою на формованому зображенні. При взаємодії електронного променя з поверхнею об'єкта одноразово виникає відразу кілька відповідних сигналів. Залежно від того, який детектор сигналу в даний момент включений, мікроскоп формує те чи інше коректне зображення.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі були досліджені фазовий та структурний склад, розподіл елементів за товщиною покриття, структура, мікротвердість. Отримані результати можуть бути використані для розробки методів нанесення покриттів на тверді сплави, де нікель був використаний в якості зв'язки, а щетакож сплави за участю нікелю. Зразки чистого нікелю використовували з метою визначення впливу насичуючого середовища на результат ХТО у суміші порошків нітрида кремнію, хлористого амонію, оксида алюмінію.

В якості об'єкта досліджень були використані зразки карбонільного нікелю, які містять 95,5% нікелю 0,3% заліза, 0,2% мас.кобальта. Хіміко термічну обробку здійснювали порошковим методом у контейнерах з плавким затвором. Контейнер був виготовлений із сталі 12X18H10T. До складу порошкової насичуючої суміші входили титан (5%), нітрид кремнію (45%), хлористий амоній (5%). Насичення проводили при температурі 1000-1050 С впродовж 1-4 годин.

Отримані покриття були досліджені методами сучасного матеріалознавства: ренгеноструктурним, мікроренгеноспектральним, мікроструктурним, дуралеметричним.

Результати досліджень фазового та хімічного складів структури покриттів наведені на рис 3.1-3.3

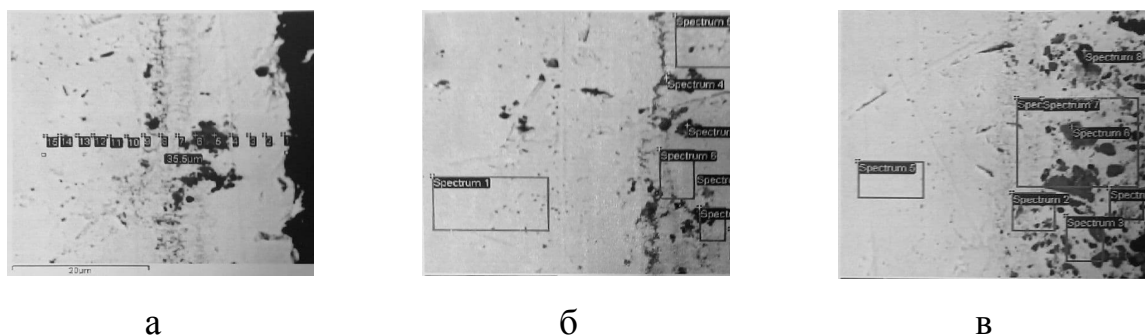


Рисунок 3.1 – Мікроструктура покриттів на нікелі; температур нанесення 1000°С; час – 2год(а); 1050,1(б); 1050,4(в); електронний мікроскоп

. Відповідно до отриманих результатів нагадано, що на поверхні нікелю формується дифузійне покриття на основі твердого розчину заліза, хрому в нікелі та сполуки TiN. Період кристалічної ґрати останнього відрізняється від періоду ґратки полікристалічного TiN по складу близького до стехіометричного і становить для досліджених покриттів.

Крім того у роботі встановлена зміна за товщиною зони періодів кристалічних ґраток TiN та твердого розчину на основі Ni(рис.3.2).

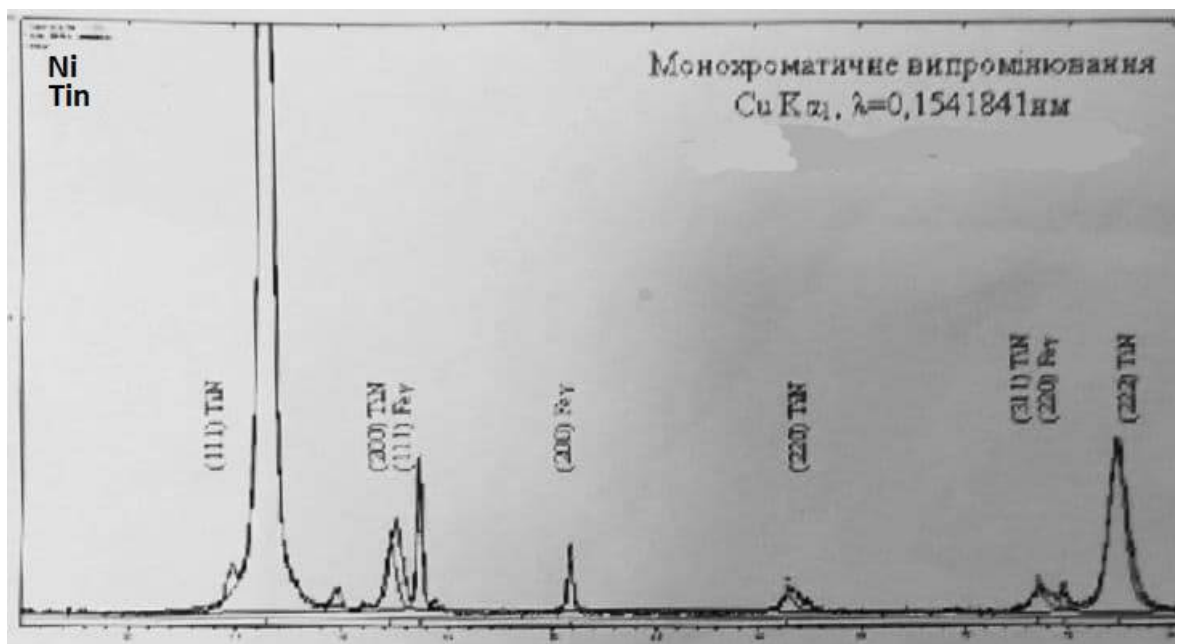
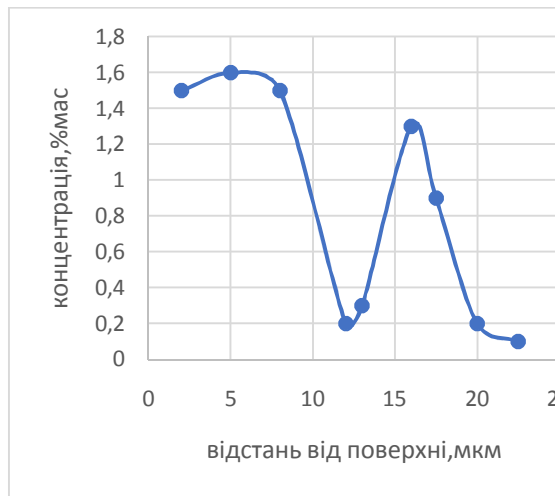


Рисунок 3.2 – Дифрактограма покриття Ni(Fe,Ti,Cr),TiN на нікелі, температура насичення 1000С; час 2 години; випромінювання $\text{CuK}\alpha_1$, $\lambda=0,1541841$ нм

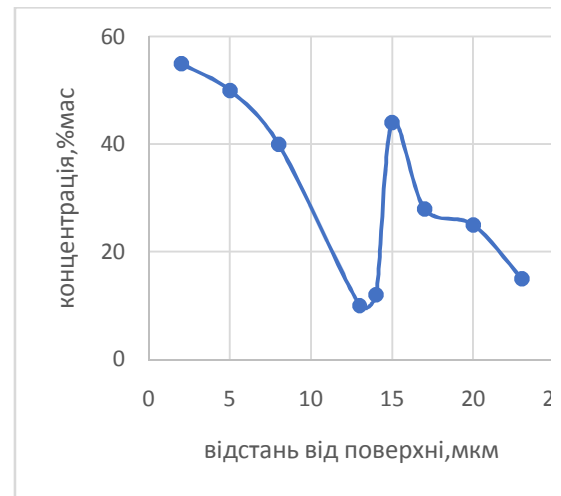
Результати хімічного аналізу покриттів (рис.3.3). Основним легуючими елементом у нікелі є залізо концентрація якого на зовнішній стороні покриття досягла 55,0-56,0% мас і монотонно зменшується за товщиною. Крім заліза у твердому розчині на основі нікелю присутні хром (рис.3.3). З концепцією на зовнішній стороні до 1,6% мас.

Слід зазначити що джерелом хрому, заліза є контейнер, виготовлений із сталі 12X18H10T. Власне насичуючі елементи (титан, кремній, азот)

зосереджені сполуки TiN. Концентрація алюмінію в покритті може становити 0,4-2,9% мас, кремнію 0,8-30,0% мас.



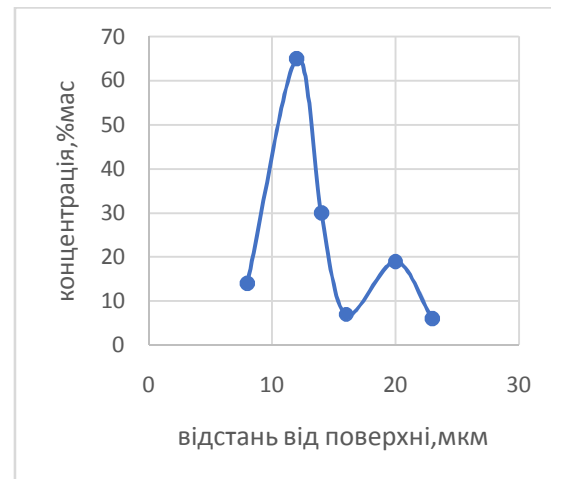
а



б



в



г

Рисунок 3.3 – Розподіл вмісту хрому(а), заліза(б), нікелю(в), титану(г), за товщиною покриття.

Мікроструктури покриттів на нікелі наведено на рис.3.1. Покриття виявляються у вигляді світлої майже білої зони з темними включеннями без чітко вираженої границі розділу з основою. На відстані 20,0-30,0 мкм від поверхні розташована полоса товщиною 3,0-5,0 мкм із світлих, світло-сірих включень стовпчастої форми. Вірогідність утворення такої зони, відповідно до діаграми стану Fe-Ni, спінодальним розпадом твердого розчину заліза в нікелі. Концентрація заліза в цій зоні становить біля 25% мас,

температура початку розпаду становить 503 С. Концентрація заліза і нікелю відповідає сполуці FeNi_3 , якої в покритті виявлено не було.

Темні, майже чорні включення у дифузійній зоні мають неправильну форму, різні розміри (від 1,0 до 13,0 мкм). Як вже зазначалося ці включення відповідають сполуці TiN . В більшості досліджених структур темні включення у світлому мікроскопі мають основний золотавожовтий колір, що відповідає нітриду TiN близького складу до стехіометричного.

3.3 Мікротвердість досліджуваних покриттів

Мікротвердість включень в покритті нітриду TiN , розміри яких давали можливість отримати і проаналізувати розміри включно від алмазного індентора, становила 21,0-21,5 ГПа. Мікротвердість покриття на основі твердого розчину за участю нікелю зменшується від 2,1-2,4 на поверхні до мікротвердості нікелю основи - 0,8-1,0 ГПа.

Формування в покритті зони твердого розчину на основі нікелю зумовлено дифузійним потоком заліза, хрому, алюмінію в основу, розподіл яких за товщиною на рис.3.3. Формування нітриду TiN у вигляді окремих включень у твердому розчині на основі нікелю відбувається при дифузійному проникненні в нікель титану та азоту. Відповідно до діаграми стану Ni-N останній в нікелі практично не розчиняється [38]. Можливо, що при легуванні нікелю залізом, хромом, алюмінієм, титаном розчинність азоту в нікелі зростає. Відповідно до отриманих результатів (рис.3.1-3.4) окремі шари за участю титану та азоту на поверхні не утворюються. Відбувається дифузія цих елементів в основу, перерозподіл цих елементів на певній відстані від поверхні, формування сполуки TiN . Розподіл включень сполуки TiN у зоні покриття $\gamma\text{-(Fe, Ni, Cr, Al)}$ на певній відстані від поверхні наведено на рис.3.4.

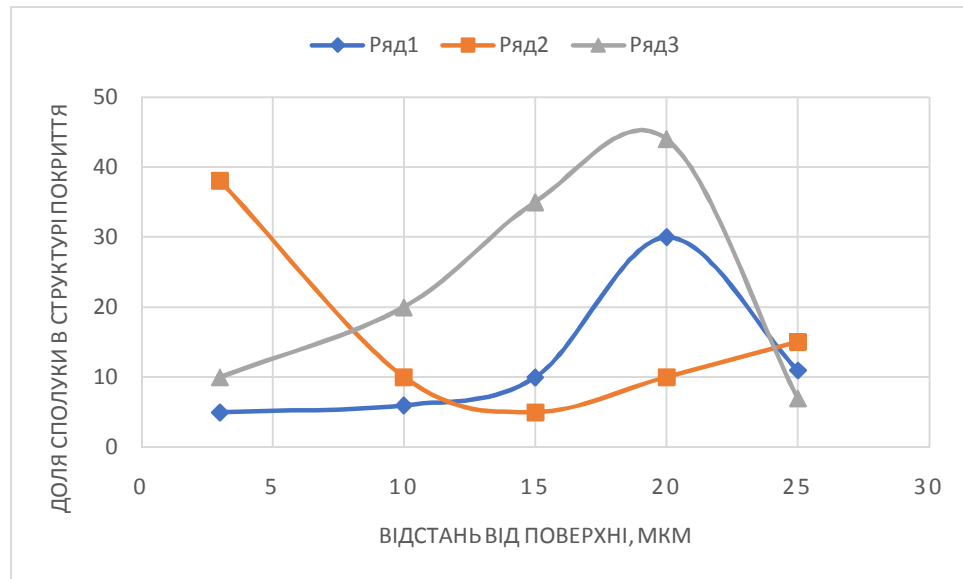


Рисунок 3.4 – Залежність вмісту нітриду TiN в покритті від відстані до поверхні.

Сучасні покриття на інструментальних сталях та твердих сплавах складаються з комбінацій шарів високо твердих сполук, TiB_2 , TiN, TiC, Al_2O_3 тощо. Товщина окремих шарів як і їх комбінація може змінюватися від кількох нанометрів до мікрометрів [39].

Отримані в роботі покриття можна віднести на основі аналізу фазового складу, структури, мікротвердості до дисперсних, у яких високотверда фаза на основі сполуки TiN у вигляді сполуки TiN, у вигляді окремих включень розташованих у матриці на основі твердого розчину заліза, хрому, алюмінію, в нікелі. Формування покриття відбувається без активної дифузної взаємодії нітриду та твердого розчину. В той же час обидві сполуки мають однакову кристалічну ґратку - ГЦК.

При різній кількості і різних властивостях складових важко передбачити загальну тенденцію зміни властивостей такого покриття. Нітрид титану, тверда складова, кількість якої (рис.3.4) може змінюватися по товщині покриття і залежить від часу і температури ХТО. Крім того, переваги такого роду покриттів ґрунтуються на стабільній структурі

(структура шарів), та постійній присутності матеріалу смазки (TiO_2) у контактній зоні в період тертя.

Можна вважати, що у запропонованому покритті реалізується кон дисперсних покриттів за участю високотвердих сполук на основі нітриду TiN , твердого розчину на основі нікелю та змочувальних плівок на основі TiO_2 . Остання утворюються в зоні контакту при терті.

3.4 Випробування зносостійкості

В роботі були проведені випробування в умовах тертя ковзання без змащування нікелю у вихідному стані та нікелю з покриттям (рис.3.5).

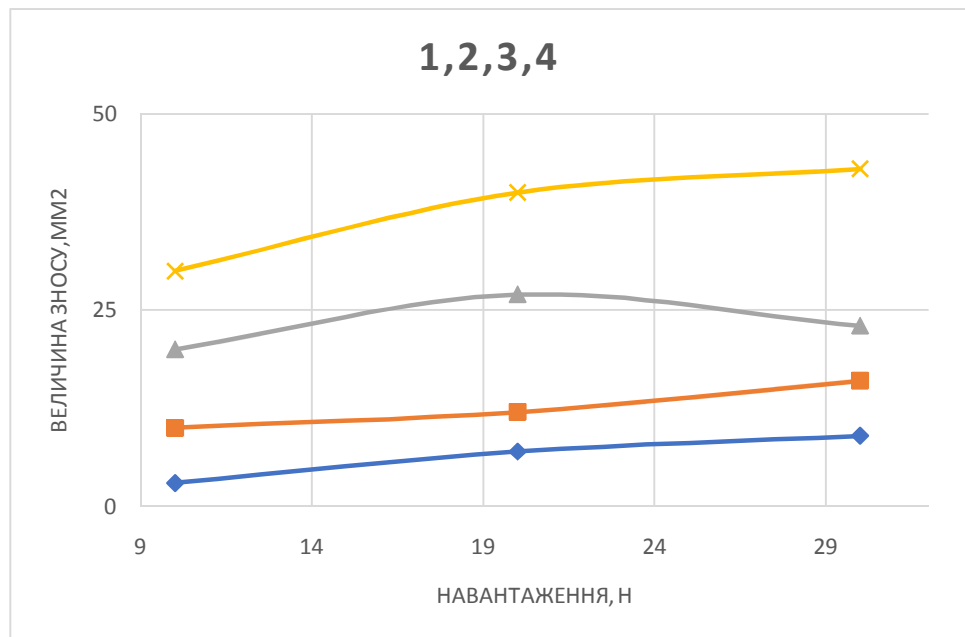


Рисунок 3.5 – Залежність величини зносу нікелю, нікелю з покриттями: параметри ХТО температура 1000С час 2год(2), 1050; 1(3), 1050;4(4), швидкість – 0,36м/с

Величину зносу оцінювали по площі лунки контакту. Встановлено, що зносостійкість нікелю з покриттями вища за зносостійкість нікелю без покриттів. Самі високі параметри показали покриття отриманні при

температурі 700 С впродовж 4 годин. Зносостійкість в цьому випадку зросла в 4,3 рази.

Аналіз отриманих результатів показав, що покриття, що покриттям з самою високою зносостійкістю характерна сама висока кількість в структурі нітриду TiN (рис.3.4).

Мікроструктура з дисперсним покриттям TiN, Ni(Fe,Al,Cr) після тертя ковзання без змащування поверхні на рис.3.6., на світлому фоні основи можна виділити темні включення, які відповідають сполуці TiN. Останнє підтверджується рентенофазовим аналізом (рис.3.2), а також результатами мікрорентгеноспектрального аналізу (табл.3.1). Висока зносостійкість отриманої структури, відповідно до отриманих результатів, зумовлена присутністю в контактній зоні продуктів деградації сполук покриття, в першу чергу, нітриду титану. Утворена структура відповідає правилу Шарпі. Тверді включення - темні зерна TiN, сухе мастило - TiO_2 (рис.3.1). Табл 3.1. розподіл хімічних елементів у лунці зносу нікеля з дисперсним покриттям TiN, Ni(N,Al) для тертяковзання без змащування. Швидкість ковзання 0,36м/с, час 18с, навантаження 40Н, температура ХТО 1050С, час 4 год.

Таблиця 3.1 – Розподіл хімічних елементів у лунці зносу нікеля з дисперсним покриттям TiN, Ni(N,Al) для тертяковзання без змащування. Швидкість ковзання 0,36м/с, час 18с, навантаження 40Н, температура ХТО 1050С, час 4 год.

Спектр	N	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Ni
1	-	-	0,5	-	-	1,8	40,8	56,9
2	-	-	0,6	-	-	1,6	54,9	42,9
3	17,0	1,5	-	-	76,6	0,3	4,1	0,9
4	3,0	10,06	1,1	-	22,3	0,9	10,1	52,0
5	4,5	13,1	0,8	-	16,1	1,4	12,8	54,3
6	1,5	12,4	0,4	-	9,8	1,8	10,7	69,4
7	7,0	8,1	1,6	6,0	71,3	1,3	13,0	4,7
8	3,1	14,0	2,0	-	9,3	0,8	26,6	35,0

Можна вважати, що дифузійні покриття на нікелі, отримані в порошкових сумішах за участю нітриду Si_3N_4 , титану, хлористого амонію NH_4Cl , оксиду алюмінію Al_2O_3 , складаються з нітриду TiN та твердого розчину на основі Ni і можуть бути перспективними для створення нового класу покриттів.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково – технічна актуальність НДР

В даний час розробка нових дифузійних покриттів є особливо актуальною, так як, Сучасне виробництво вимагає застосування нових матеріалів та технологій для їх створення, Це стосується , в том числі, деталей, для авіа та машино будування, із нікелю та його сплавів.

Застосування хіміко термічної обробки для покращення властивостей детаей з металів та сплавів, дозволяє отримати вироби з високими зносо - жаро та корозійною стійкістю. При цьому затрати на виготовлення будуть меншими,

4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

Метою цієї роботи є встановити можливість нанесення на нікель дисперсних покриттів, які складаються з окремих включень нітриду титану, та нікелю легованого залізом, алюмінієм, хромом.

Задачі:

1. Визначення фазового і хімічного складів, будови отриманих покриттів;
2. Встановлення впливу комплексних багат шарових дифузійних покриттів на нікелі на зносостійкість
3. Визначити вплив часу витримки зразка на хімічний і фазовий склад покриття та його зносостікість.
4. Створення на основі одержаних даних практичних рекомендацій з можливого застосування захисних покриттів

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок усіх витрат на НДР, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити планову кошторисну вартість даної теми. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- а) заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- б) єдиний соціальний внесок;
- в) вартість спецобладнання для виконання НДР;
- г) вартість матеріалів, необхідних для проведення НДР;
- д) витрати на службові відрядження;
- е) інші прямі невраховані витрати по темі;
- ж) накладні витрати.

4.3.1 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців

Витрати за цією статтею включають в заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітну плату розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях. Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Трудомісткість етапів виконання науково-дослідної роботи

Етапи НДР	Відповідвик он. теми, снс	Інженер- дослідни к	Технік
Аналіз фазових публікацій з теми НДР	9	9	---
Розробка методики проведення роботи	6	5	---
Підготовка устаткування для проведення експериментів	6	5	12
Приготування суміші	---	11	20
Рентгеноструктурний аналіз	---	5	---
Мікрорентгеноспектральний аналіз	---	6	---
Мікроструктурний та дюрOMETричний		6	
Дослідження на зосостійкість		5	
Опрацювання результатів	20	---	20
Оформлення результатів роботи	---	10	6
Разом	41	63	48

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Денна зарплата визначається як відношення місячного окладу до умовного місяця (для НДР з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок фонду заробітної плати

Посада	Трудовістість, людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми	41	9600	452,8	18566,04
Інженер- дослідник	63	7096,32	334,73	21088,12
Технік	48	5538	261,22	12538,87
Разом				С

Величина фонду заробітної плати (ФЗ) визначається як добуток трудовістісті та денної заробітної плати виконавців:

$$\text{ФЗ} = 41 \cdot 452,8 + 63 \cdot 334,73 + 48 \cdot 261,22 = 52193,03 \text{ грн.}$$

4.3.2 Визначення суми єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок визначається у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати.

$$\text{В}_\text{С} = 52193,03 \cdot 0,22 = 11482,47 \text{ грн.}$$

4.3.3 Витрати на матеріали, необхідні для виконання НДР

Витрати на матеріали (B_M), які необхідні для проведення даної НДР вираховуються виходячи із ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Порошок Si_3N_4 (чистий)	кг	0,5	1300	650
Порошок NH_4Cl (чистий)	кг	0,5	50	25
Порошок Fe_2O_3 (чистий)	кг	0,5	250	125
Разом				800

Транспортно-заготівельні (B_T) витрати складають 10% від вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті:

$$B_T = 800 \cdot 1,1 = 880 \text{ грн.}$$

4.3.4 Витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експериментів

Всі роботи виконуються на наявному обладнанні і витрати на цю статтю не передбачались. Перелік використаного обладнання наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Перелік наукового устаткування, необхідного для виконання НДР

Найменування устаткування	Модель устаткування
Дифрактометр	ДРОН УМ-1
Скануючий електронний мікроскоп	Jeol JSM-6490LV, CamScan 4D
Мікроскоп	Neophot 21
Рентген	Rigaku

4.3.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях кафедри металознавства та термічної обробки, тому витрати на службові відрядження не передбачені.

4.3.6 Інші прямі невраховані витрати на НДР

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей (використання обладнання інших організацій, оплата консультацій спеціалістів з інших організацій та інше). При виконанні даної роботи інші прямі невраховані витрати (V_I) складають 10% від суми розрахованих прямих витрат на НДР:

$$V_I = (52193,03 + 11482,47 + 880) \cdot 0,1 = 6455,55 \text{ грн.}$$

4.3.7 Накладні витрати по темі

В даному розділі розраховуються витрати на заробітну плату управлінського та загальногосподарського персоналу з єдиним соціальним внеском, витрати на допоміжні виробництва, витрати на охорону праці та

техніку безпеки, поточний ремонт, витрати на утримання виробничої площі, на утримання й експлуатацію універсального обладнання для експериментальних цілей тощо. Накладні витрати (НВ) складають 20% від суми всіх прямих витрат по НДР:

$$НВ = (В_M + \Phi З + В_C + В_I) \cdot 0,2, \quad (4.1)$$

де $В_M$ – вартість матеріалів, необхідних для виконання теми;

$\Phi З$ – фонд заробітної плати;

$В_C$ – відрахування на соціальне страхування;

$В_I$ – інші прямі невраховані витрати.

$$НВ = (52193,03 + 11482,47 + 880 + 6455,55) \cdot 0,2 = 14202,21 \text{ грн.}$$

4.3.8 Складання калькуляції

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Плановий кошторис витрат на виконання НДР

Стаття витрат	Умовні позначення	Сума	
		грн.	%
Заробітна плата виконавців	$\Phi З$	52193,03	61,25
Єдиний соціальний внесок	$В_C$	11482,47	13,47
Витрати на матеріали	$В_M$	880	1,03
Витрати на службові відрядження	--	--	--
Інші прямі невраховані витрати по темі	$В_I$	6455,55	7,58
Накладні витрати	НВ	14202,21	16,67
Разом		85213,26	100

4.4 Економічна ефективність науково-дослідницької роботи

Дана НДР являє собою частину комплексної теми, у зв'язку з цим розрахунок прямої ефективності її результатів не виконується. У цьому випадку можна застосувати оцінку умовної ефективності по окремих її характеристиках:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів розробки (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- складність розробки (K_4).

Загальна оцінка вираховується в балах (B) перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4; \quad (4.2)$$

де K_1 – важливість розробки;

K_2 – можливість використання результатів розробки;

K_3 – теоретичне значення та рівень новизни;

K_4 – складність розробки.

$$B = 4 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 5 = 700$$

Умовний економічний ефект НДР ($E_{\text{НДР}}^y$):

$$E_{\text{НДР}}^y = 200 \cdot B - E_n \cdot Z_{\text{НДР}}, \quad (4.3)$$

де 200 – умовний ефект на один бал;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (0,15);

$Z_{\text{НДР}}$ – загальні витрати на роботу.

$$E_{\text{НДР}}^y = 200 \cdot 700 - 0,15 \cdot 85213,26 = 127218,01 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом ефективності (Е), який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат і розраховується по формулі:

$$E = E_{\text{НДР}}^y / Z_{\text{НДР}} > 0,15, \quad (4.4)$$

$$E = 127218,01 / 85213,26 = 1,492936792$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної НДР є економічно обґрунтованим.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Невід'ємною частиною організації праці і виробництва є охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [40].

Крім того, охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві, створення для них безпечних умов, поступову ліквідацію шуму і вібрацій, запиленості виробничих приміщень, будівництво і реконструкцію санітарно-побутових приміщень, поліпшення забезпечення робітників засобами індивідуального захисту. Усе це в комплексі підвищує продуктивність праці людини і зберігає її здоров'я.

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих чинників в процесі отримання дифузійного покриття на нікелі.

5.1 Правові та організаційні основи охорони праці.

Основний нормативний документ щодо організації охорони праці в Україні – це Закон України «Про охорону праці».

Відповідно до статті 13 цього закону роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [41]

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці на підприємстві.

Обов'язки працівника щодо дотримання вимог нормативно-правових

актів з охорони праці наведені в статті [42].

Відповідно до ст. 15, на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці .

Відповідальних за охорону праці на факультетах і інститутах призначає роботодавець. Відповідальним за охорону праці на кафедрі металознавства і термічної обробки , а також в лабораторії 305 є Лоскутова Т.В.

5.2 Аналіз параметрів приміщення

Дослідження дифузійних багат шарових покриттів сталі У8А проводилося в 305 лабораторії (9 корпус). Схематичне зображення лабораторії представлено на рис.5.1

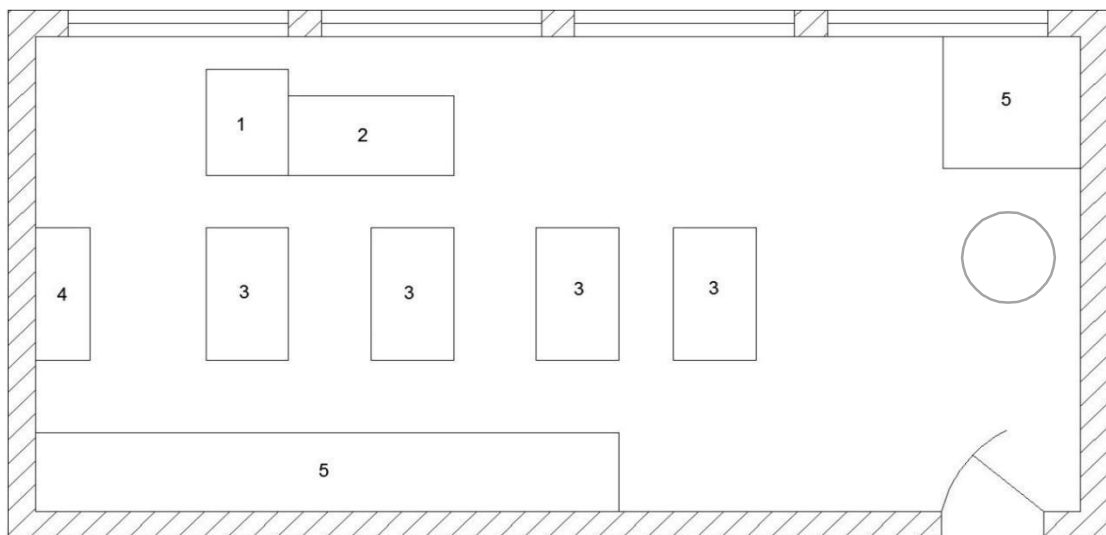


Рисунок 5.1 – Схематичне зображення лабораторії 305 (9 корпус).

1 – робоче місце з ПК; 2 – робоче місце з машиною тертя МТ-68; 3 – робочий стіл; 4 – шафа; 5 – термічні установки; 6-вентиляція

В лабораторних умовах дифузійні покриття на сталі У8А отримували

дифузійним насиченням.

Зразки, які були отримані обробляли на шліфувальній установці. Мікроструктурні дослідження виконувались на мікроскопі NEOPHOT-21 в інтервалі збільшень 50-1000 разів.

Для виявлення мікроструктури застосовували реактиви «Марбля» та «царську горілку». Час травлення (3-5) с.

Розміри лабораторії – ширина (6м), довжина (8,3м), висота (3,2м) Площа лабораторії складає: $S=a \cdot b=6 \cdot 8,3=49,8 \text{ м}^2$

Об'єм лабораторії складає: $V=a \cdot b \cdot c=6 \cdot 8,3 \cdot 3,2=159 \text{ м}^3$

Кількість працюючих становить три особи.

Таким чином, на одного працюючого припадає $16,6 \text{ м}^2$ площі і 53 м^3 об'єму, що задовольняє вимогам санітарних норм і правил ДСанПіН 3.3.2.007-98 для приміщень з ПЕОМ норма площі на одну особу становить $6,0 \text{ м}^2$, а норма об'єму приміщення на одну особу – 20 м^3) [43].

5.2.1 Аналіз мікроклімату в робочій зоні приміщення

Мікроклімат внутрішнього середовища лабораторії визначається періодом року, поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [(44)] «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» в залежності від пори року розрізняють холодний та теплий періоди. Також розрізняють категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ.

Для виконання магістерської дисертації, за важкістю роботи відносяться до категорії Іб. Роботи за важкістю відносяться до категорії Іб (легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або зв'язані з ходьбою і не потребують важких систематичних фізичних навантажень, затрачується 150 Ккал/год.) (45).

Результати дослідження параметрів мікроклімату в лабораторії 305 наведені в табл.7.3. В приміщенні використовується водяне опалення і природна вентиляція.

Таблиця 5.3 – Величини параметрів мікроклімату в лабораторії 305

Категорія робіт	Параметр мікроклімат у	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювань	Висновок
			Оптимальне	Допустиме		
Середньої важкості Па	Температура, °C	Теплий	21-23	18-27	22	оптимально
		Холодний	18-20	17-23	19	допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	60-40	65	51	оптимально
		Холодний	60-40	75	47	оптимально
	Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,2	0,2-0,4	0,16	допустимо
		Холодний	0,2	Не більше 0,3	0,09	допустимо

На основі наведених даних можна зробити висновок, що мікроклімат в лабораторії відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 (44).

5.2.2 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне у свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне і місцеве. Характеристика зорової роботи поділяється за класами точності :

- 1) найвищої точності,
- 2) дуже високої, 3) високої, 4) середньої,

5) малої, 6) дуже малої точності. Наша робота підходить під клас середньої точності ДБН В.2.5.28-2006 (46). ,

В лабораторії 305 використовується система сумісного освітлення – освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється.

Природне освітлення в лабораторії – бокове, тобто здійснюється через бокові світлові прорізи в зовнішніх стінах з західної сторони. В світлий час доби (вдень) використовується, в основному, природне освітлення. Воно забезпечує добру освітленість та сприятливо впливає на зір, економічне. Природне освітлення повністю задовольняє встановленим нормам, що дозволяє в денний час економити електроенергію.

Світильники штучного освітлення розміщені у верхній зоні приміщення рівномірно.

Недостатність і надмірність освітлення призводить до погіршення зору, що потенційно може призвести до професійного захворювання. Довготривале перебування в умовах поганої освітленості викликає близкзорість. Не рівномірність освітлення приводить до частої преадаптації очей під час роботи і, як наслідок, до швидкого стомлення органів зору.

5.2.3 Аналіз інфрачервоного випромінювання

При роботі з піччю для нанесення покриттів існує небезпека теплового впливу на організм людини, який викликає інфрачервоне випромінювання. Теплові апарати, які використовуються на підприємствах (в нашому випадку піч для термічної обробки), є джерелами інфрачервоного випромінювання. За фізичною природою інфрачервоне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі та потік квантових фотонів. Над печами встановлена витяжна вентиляція марки С 4.70-3.2.

Інфрачервоне випромінювання впливає на функціональний стан людини, його центральну нервову систему, серцево-судинну систему, а також може викликати цілий ряд патологічних змін в стані очей. Допустима густина потоку ІЧВ встановлена з урахуванням області випромінювання. У відповідності з "Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень" інтенсивність опромінення ІЧВ від відкритих джерел (нагрітий метал та нагрівачі) не повинна перевищувати 140 Вт/м^2 при опроміненні не більш ніж 25 % поверхні тіла і обов'язковому застосуванні засобів індивідуального захисту, в тому числі засобів захисту обличчя та очей.

Захист від інфрачервоного випромінювання згідно ДСН 3.3.6.042-99[44]. здійснюється екрануванням джерел випромінювання за допомогою теплоізолюючих матеріалів. Ззовні піч має металевий кожух. В якості засобів індивідуального захисту застосовуються рукавиці суконні, для захисту очей від впливу ІЧВ – окуляри зі спеціального жовто-зеленого скла.

5.2.4 Аналіз впливу шуму та вібрації

Головним шумовим агрегатом є робота витяжної вентиляції марки С4.70- 3.2., яка знаходиться над печами та шліфувальної установки.

Характер шуму тональний. Тривалість роботи вентиляції залежить від тривалості роботи печі (2 години на зміну).

Тривалість роботи шліфувальної установки 2/1 НОМ становить 30 хв. Фактичний шум складає 65 дБА. Нормування виробничого шуму,

ультразвуку та інфразвуку ДСНЗ.3.6.037-99. [44]. Нормування виробничої загальної та локальної вібрації здійснюється відповідно з ДСН 3.3.6.039-99. [44]. Згідно цих норм загальний рівень шуму в приміщенні лабораторії не повинен перевищувати 75 дБА. Оскільки шум в лабораторії не перевищує встановлені норми, то шкідливого впливу на людину не відбувається.

При роботі на шліфувальних та полірувальних кругах утворюється шум, який сприяє швидкій втомі робітника, і, як внаслідок, зниженню продуктивності праці, розладу нервової системи. Для запобігання шкідливого впливу шуму на людину шліфувальні та полірувальні круги встановлені в окремому приміщенні та ізольовані спеціальними звукопоглинальними матеріалами.

Джерелом вібрації є витяжна вентиляція та шліфувальна установка. Фактичний рівень вібрації становить по віброприскоренню 25 дБА та віброшвидкості 54 дБА. Шум з рівнем 50 – 60 дБА може викликати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утрудненні роботи з масивами інформації тощо [44].

5.2.5 Аналіз забрудненості повітря

Вплив пилу на організм людини залежить від складу пилу та його походження. Нетоксичний пил може викликати подразнення шкіри, при цьому може виникнути захворювання шкіри – дерматит. Якщо пил проникає в легені, то він може викликати таке професійне захворювання, як пневмоконіоз.

Титан та алюміній, які використовуються в вигляді порошку при змішуванні, при дозуванні можливе утворення дрібнодисперсного пилу. Пил впливає на організм людини переважно як фіброгенний фактор, що викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та осідаючи в легенях практично не потрапляє до кровообігу внаслідок поганої розчинності в біологічних середовищах (кров, лімфа). Найбільшу небезпеку чинить дрібнодисперсний пил. Такий пил, на відміну від крупнодисперсного, практично не осідає в повітрі приміщення, а знаходиться у підвішеному стані і легко потрапляє до легень.

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу і шкідливих речовин. За ГОСТ 12.1.005-88 встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин ГДК (мг/м^3) в повітрі робочої зони виробничих приміщень.

Для захисту органів дихання від попадання в них пилу в даній роботі слід використовувати протипилові респіратори [42]. Для локалізації шкідливих речовин також встановлена механічна витяжна вентиляція марки С4.70-3.2.

5.3 Електробезпека

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220В. Мікроскоп має підсилену ізоляцію, піч для нанесення покриттів має робочу ізоляцію і елемент для заземлення. Аудиторія 305 відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Електробезпека людей значною мірою залежить від вологості і температури повітря у приміщенні, ступеня електропровідності підлоги і стін, наявності в повітрі хімічних речовин й електропровідного пилу тощо.

Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції та недоступністю струмоведучих частин [47]. На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм перемінний), частота струму (50 Гц), шлях струму в організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище.

Величина струму, що протікає через будь-яку ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25мА, при якому важко самостійно відірватись від провідника, а струм величиною 100мА може призвести до смертельного наслідку. Правила улаштування електроустановок ПУЕ-2017 [48].

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів.

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є ураження при пошкодженні ізоляції і заземлення печей та електричного обладнання або при пошкодженні розетки [45].

Для забезпечення електробезпеки працюючих використовують наступні заходи: періодичну перевірку стану ізоляції, недоступність струмоведучих частин, забезпечення своєчасного навчання і перевірка знань працівників з питань електробезпеки.

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Пожежна безпека

Лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки. Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [49] за вибухопожежною та пожежною небезпекою лабораторії відноситься до категорії Г, так як в роботі використовуються негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або

розплавленому стані, процес обробки супроводжується виділенням тепла. Інша частина приміщення відноситься до категорії В, тому що в лабораторії знаходяться і використовуються горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, але при цьому приміщення не належить до категорій А і Б. Таким чином, загальною приймаємо категорію В. Клас зони за вибухонебезпекою відсутній. Клас зони за пожежною безпекою згідно ДНАОП 0.00-1.32-01 встановлено П-Па, тому що електроустаткування розміщено і використовується у просторі приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

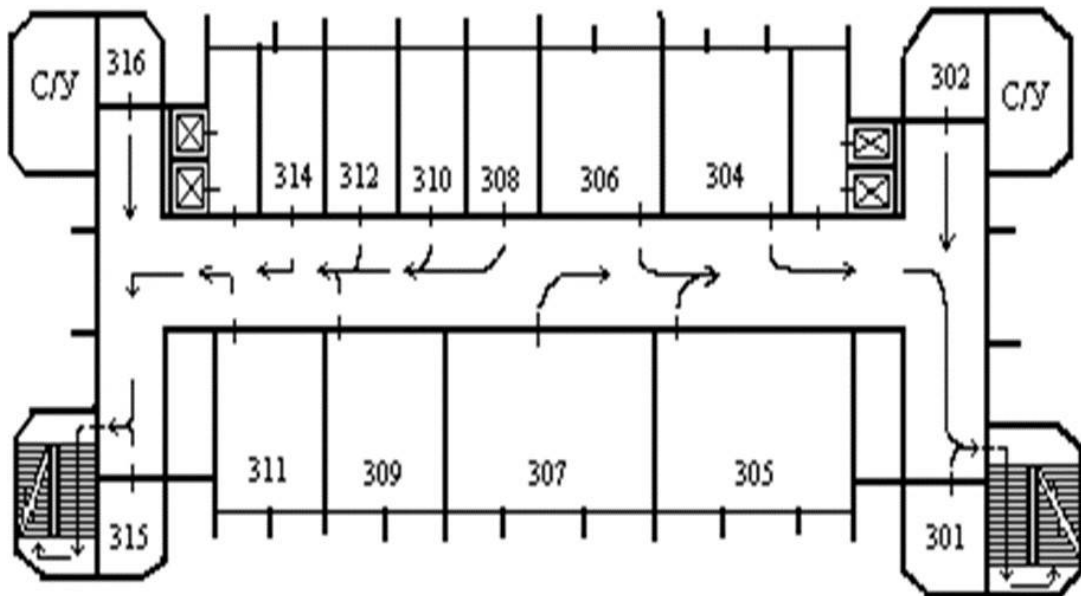


Рисунок 5.8 – План евакуації з приміщення лабораторії

На випадок пожежі в лабораторії є один вогнегасник ОУ-2. Такий вогнегасник забезпечує пожежогасіння у випадку короткого замикання електропроводки без її попереднього відключення. Також розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (теплові або димові повідомлювачі).

Заходи щодо пожежної безпеки передбачають правильну експлуатацію обладнання, протипожежний інструктаж робітників, заборону куріння в недозволених для цього місцях, наявність засобів гасіння і попередження пожежі [50].

5.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпуси скануючого растрового мікроскопу, оптичного мікроскопу чи на сервогідравлічну машину, необхідно відключити рубильник на електрощитках і довести до відома про це головного інженера лабораторії [42].

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити наявні в лабораторії пристрої від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку згорання приладів для дослідження необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника [51].

Кожен інженер чи лаборант, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це пожежну охорону за телефоном 101 університету;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в лабораторії засобами пожежогасіння (вогнегасник, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (головного інженера, начальника охорони, декана).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це головного інженера, декана та звернутися в медпункт [41].

5.6 Висновок

В даному розділі проаналізували умови праці в лабораторії №305 9 корпусу. Виходячи з отриманих даних, були запропоновані заходи, направлені на створення безпечних умов праці, безпечну експлуатацію обладнання та нейтралізацію дії шкідливих речовин. Дана лабораторія забезпечена всіма необхідними матеріалами та інструментами, які можуть допомогти усунути небезпечні фактори в разі їх виникнення

ВИСНОВКИ

Встановлена можливість нанесення на нікель дисперсних покриттів, які складаються з окремих включень нітриду титану TiN, та нікелю, легованого залізом, алюмінієм, хромом.

Показана залежність кількісного складу покриттів від температури і часу насичення.

При температурі насичення 1050C і часу витримки 4 години вміст сполуки TiN в покритті на відстані 18,0 - 20,0 мкм від поверхні досяг 48,0% мас.

Багатокомпонентні покриття титану, заліза, хрому, кремнію, азоту можуть бути перспективними при експлуатації в умовах тертя ковзання без змащування.

Можна вважати, що дифузійні покриття на нікелі, отримані отримані в порошкових сумішах за участю нітрида SiN_4 , титану ,хлористого амонію NHCl , оксиду алюмінію Al_2O_3 , складаються з нітриду TiN іможуть бути перспективними для створення нового класу покриттів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. L.von Fieandta, T.Larsson, E.Lindahl, O.Bäcke, M.Boman, Chemical vapor deposition of TiN on transition metal substrates. Surface and Coatings Technology. Volume 334, 25 January 2018, Pages 373-383.
2. Bastian S., Busch W., Kühnel A., Springer A., Meißner T., Holke R., Toxicity of Tungsten Carbide and Cobalt-Doped Tungsten Carbide Nanoparticles in Mammalian Cells in Vitro, Health Perspect. 2009, 117. – 530-535.
3. L. Toller, C. Liu, E. Holmstrom, T. Larsson, S. Norgren, Investigation of cemented carbides with alternative binders after CVD coating, Int. J. Refract. Met. Hard Mater. 2016.
4. Kafizas, C. laire J., Carmalt, I. Parkin, CVD and precursor chemistry of transition metal nitrides, Volume 257, Issues 13–14, July 2013, Pages 2073-2119.
5. J. Wagner, C. Mitterer, M. Penoy, C. Michotte, W. Wallgram, M. Kathrein The effect of deposition temperature on microstructure and properties of thermal CVD TiN coatings, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, ISSN : 0263-4368.
6. Хижняк В. Г., Долгих В. Ю., Карпец М. В. Структура и свойства покрытий на безвольфрамовых твердых сплавах. Порошковая металлургия. 2003, №9/10. С.118-123.
7. Каплина Г. С. Жунковский Г. Л. – В кн.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1972, вып. 6, с. 73-79.
8. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие / Под ред. д.т.н., проф. С.Н. Виноградова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 212 с.
9. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1965. 491 с.

10. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 474 с.
11. Davis, J. R. Surface Hardening of steels: understanding the basics. Materials Park, Ohio, USA : ASM International, ISBN 0-87170-764-0, 2002.
12. Pye, D. Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing. Materials Park, Ohio, USA : ASM International, ISBN 0-87170-791-8, 2003.
13. Minkevich, A. N. .Thermochemical Treatment of Metals and Alloys, . Moscow, USSR : Mashinostroenie, UDC 621.78.794,, (1965).
14. Davis, J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Materials Park, Ohio, USA : ASM International, ISBN 0-87170-700-4, 2001.
15. Smith, F. W. Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill, New York, USA. New York, USA : McGraw-Hill, 1993.
16. Buchkov, D. & Toshkov, V. Ion Nitriding, Technika, UDC 621.785.5, Sofia, Bulgaria . Sofia, Bulgaria : Technika, UDC 621.785.5, 1990.
17. Krastev, D. Yordanov, B. About the Surface Hardening of Tool steels by Electrical Discharge Treatment in Electrolyte. б.м. : Solid State Phenomena, Vol. 159 (February 2010) pp 137-140, ISSN 1662-9779, 2010.
18. Castelleti, L. C., Neto, A. L., & Totten G. E. (2008). Plasma Nitriding of Stainless Steels, In:.
19. Lei, M. K., Zang, Z. L. Microstructure and Corrosion Resistance of Plasma Source Ion Nitrided Austenitic Stainless Steel. б.м. : Journal of Vacuum Science & Technology A, No. 2, (March 1997), pp. 421-427, ISSN 0734-2101, 1997.
20. Liahovich, L. S. (Ed.). Thermochemical Treatment of Metals and Alloys. Moscow, USSR : Metallurgia, UDC 621.793.4, 1981.

21. Schatt, W., Simmchen E., & Zuuhar, G. Konstruktionswerkstoffe des Maschinen- und Anlagenbaues. Stuttgart, Germany : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, ISBN 3-342-00677-3, 1998.
22. Krastev D., Improvement of Corrosion Resistance of Steels by Surface Modification, University of Chemical Technology and Metallurgy.
23. ASTM Handbook Heat Treating, Volume 4. Materials Park, Ohio, USA : ASTM International, ISBN 0-87170-379-3, 1991.
24. Suwattamanont, N., Petrova R. S., Zunino III, J. L., & Schmidt, D. P. Surface treatment with Boron for Corrosion Protection. Orlando, USA : Proceedings of 2005 Tri-Service Corrosion Conference, 2005.
25. Chatterjee-Fischer, R. (Ed). Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen: Nitrieren und Nitrocarburieren . Sindelfingen, Germany : Expert Verlag, ISBN 3-8169-0076-3, 1986.
26. Proskurin, E. V., Popovich, V. A., & Moroz, A. T. Galvanizing,. Moscow, USSR : Metallurgia, ISBN 5- 229-00112-7, 1988.
27. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків там зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. 2007.
28. Большой фотомикроскоп отраженного света НЕОРНОТ 32. Инструкция по эксплуатации. б.м. : CARALZEISSJENA.
29. Г.М.Михеев, Р.Г.Зонов, Д.Г.Калюжный, А.Ю.Попов. СОПРЯЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА “НЕОРНОТ 32” С ПЕРСОНАЛЬНЫМ КОМПЬЮТЕРОМ . б.м. : УДК 681.7.
30. Dieh - Металографічні дослідження металу (tuev-dieks.com).
31. Л.М. Ковба. Рентгенография в неорганической химии. М., МГУ, 1991.
32. М.А. Порай - Кошиц. Основы структурного анализа химических соединений. М., ВШ, -1989.
33. Нові матеріали та сучасні методи дослідження. Рентгеноструктурні дослідження з використанням програмного забезпечення PDXL

- дифрактометра ULTIMAIV (Rigaku): Методичні вказівки та інструкції до виконання лабораторних робіт для студентів інженерно-фізично.
34. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. -632 с.
 35. С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. Рентгенографический и электроннооптический анализ. . б.м. : М., МИСиС, 1994.
 36. А.А. Ильин, Б.А. Колачёв, И.С. Польшин Состав,. Структура, Свойства; 520с. б.м. : Москва, 2009.
 37. <https://www.selectscience.net/products/jsm-6490lv-scanning-electron-microscope/?prodID=106757#tab-2>.
 38. Kubashewski, Ortrad. Binary Phase Diagrams. б.м. : Springer, 1982.
 39. Хижняк В.Г, Долчих В. Ю. Карпец М.В. Структура и свойства покрытий на без вольфрамовых твердых сплавах. б.м. : Порошковая металлургия, 2003.
 40. Ст. 1 Закону України "Про охорону праці".
 41. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.
 42. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
 43. ДСанПН 3.3.2.007-98 Гігієнічні вимоги до організації роботи .
 44. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
 45. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист: навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с. – [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/12>.

- 46.ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
- 47.ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 48.ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. НАПБ Б.03.002-2007.
- 49.НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
- 50.ДБН В.2.2-28-2010. Державні будівельні норми.
- 51.Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.
- 52.Хижняк В.Г., Курило Н.А. Будова та механічні властивості карбідних та нітридних покриттів титану, ванадію та хрому на сталі У8А с. 17 – 21. б.м. : Металознавство та обробка металів, 2007.
- 53.Сорокин. Стали и сплавы. Марочник . 2001р.
- 54.Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Воршинин Л.Г., и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник– 424 с. . б.м. : Металлургия,, 1981.
- 55.М.С. Ковальченко, А.В. Паустовский, В.П. Ботвинко, Тамаров А.П. Электроискровое легирование и последующая обработка инструмента из быстрорежущих сталей . б.м. : Порошковая металлургия, 1996.
- 56.52. Каплина Г. С. Жунковский Г. Л. – В кн.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1972, вып. 6, с. 73-79.
- 57.53. Козаченко О.А. Пухальська Г.В. Дипломний проект на тему Вдосконалення технологічного процесу та підвищення зносостійкості деталі «Зубчасте колесо». Запоріжжя 2018р – 148с.
- 58.54. Коломыщев П. Т. Жаростойкие диффузионные покрытия. М.: Металлургия 1979, 272 с.

- 59.Л.М. Ковба. Рентгенография в неорганической химии. М., МГУ,1991.
- 60.Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. — М.: Металлургия, 1974. — 559 с.
- 61.Лахтин Ю. М. Основы металловедения. — М.: Металлургия, 1988. — 320с.
- 62.Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю.А. и др. Диффузионные карбидные покрытия. — К.: Техника, 1991. — 168 с.
- 63.Лоскутова Т. В. Отримання та структура комплексних дифузійних покриттів за участю хрому та алюмінію на титановому сплаві ВТ6 / Т.В.Лоскутова, В.Г.Хижняк, І.Я.Смокович, І.С.Погребова // Вісник СевНТУ – Севастополь.: 2011. – випуск 120. – С. 120-125.
- 64.Лоскутова Т.В., Смокович І. Я., Хижняк. В. Г., Тарасенко Р. Р. Защитные покрытия при участии хрома и алюминия на титане и титановых сплавах // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. – С.152–160.
- 65.М.А. Порай - Кошиц. Основы структурного анализа химических соединений. М., ВШ, -1989.
- 66.М.М. Бобіна, І.Я. Смокович, О.М. Соловар, Т.В. Лоскутова Дифузійне насичення сплаву ВТ6 азотом, вуглецем, киснем 2011.
- 67.Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие / Под ред. д.т.н., проф. С.Н. Виноградова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 212 с.
- 68.Металловедения титана и его сплавов/Белов С.П., Брун М.Я., Глазунов С.Г. и др. Под ред. Глазунова С.Г. и Колачева Б.А. – М.: Металургия, 1932. – 352с.
- 69.Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1965. 491 с.
- 70.Мовчан В. П., Бережний М. М. Основы металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.

- 71.Мягченко О. П. Безпека життєдіяльності людини та суспільства. Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 384 с.
- 72.Наказ МНС України "Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях" від 11.09.2012 № 1192
- 73.НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
- 74.Нові матеріали та сучасні методи дослідження. Рентгеноструктурні дослідження з використанням програмного забезпечення PDXL дифрактометра ULTIMAIV (Rigaku): Методичні вказівки та інструкції до виконання лабораторних робіт для студентів інженерно-фізичного факультету / Укладачі: М. В. Карпець, Я. В. Зауличний, О. І. Дудка, О. С. Макаренко. – К.: НТУУ «КПІ». – 2013. – 36 с.
- 75.Патент України UA43732. Комбінований спосіб нанесення дифузійних покриттів / А.Б. Бобін, М.М. Бобіна, В.С. Майборода. / Бюл. Промислова власність. – 2009. – № 8.
- 76.Попов А. А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. М.: Metallurgizdat, 1962. 120 с.
- 77.Правилаулаштуванняелектроустановок (ПУЕ-2017) – Київ 2017
- 78.Прогрессивные методы химико-термической обработки,/Под редакцией Дубинина Г. Н. и Когана Я. Д. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
- 79.Прокошин Д.А. – В кн.: Химические и термические методы обработки стали. М.: ОНТИ, 1938, с. 3-43.
- 80.Райцес В. Б. Технология химико-термической обработки на машиностроительных заводах. М.: Машиностроения, 1965. 294 с.
- 81.С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. Рентгенографический и электроннооптический анализ. М., МИСиС, -1994.

- 82.Самсонов Г. В. Тугоплавкие покрытия / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М.: Металлургия, 1973. – 400 с.
- 83.Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. 2-е изд. М.: НИИМаш, серия С-Х-6, 1973. 88 с.
- 84.Самсонов Г.В. Физико-химические свойства окислов. – М.: Металлургия, 1999. – 456 с.
- 85.Середа Б.П., Палехова И.В. Получение двухкомпонентных покрытий на основе титана методом СВС // Металловед. и терм. обраб. метал. – 2003. – №11. – С. 30–32.
- 86.Силіціювання // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 178. — ISBN 978-966-7407-83-4.
- 87.Скребцов А.А, Овчинникова А.В. Исследования влияния повышения содержания кислорода на механические свойства. Механиз разрушения и структуры в промышленных сплавах титана. / / Тез. докл. 4-той Международной научно-технической конф. авиамоторостроительной отрасли 9Запорожье – Алушта, 17-21 мая 2010 г.). – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2010. – 272 с.