

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Оксана ГАПОНОВА
(підпис)

« ___ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство _____
(код та назва)

_____ освітньо-професійної _____ програми _____ Прикладне матеріалознавство _____

на тему: _____ Дослідження технології отримання, структури та _____
властивостей зносостійких ванадієвих покриттів. _____

Здобувача (ки) групи _____ МТ.м-21/1 _____ Кізя Олексій Сергійович _____
(цифра групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ (підпис) _____ Олексій КІЗЯ _____
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ доцент, к.т.н., доцент Андрій ДЕГУЛА _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль _____ доцент, к.т.н., доцент Андрій ДЕГУЛА _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних
матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кізя Олексій Сергійович

1. Тема проекту: «Дослідження технології отримання, структури та властивостей зносостійких ванадієвих покриттів»

затверджена наказом по університету від “09” листопада 2023р. № 1254-VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту(роботи)_____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)_____

Вихідними даними для роботи є умови щодо отримання якісних зносо- та корозійностійких ванадієвих покриттів на поверхні деталей, що працюють при підвищених навантаженнях.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

— огляд літератури за темою, формулювання мети та завдань дослідження; викладення загальної методики та основних методів дослідження; опис проведених теоретичних та експериментальних досліджень, а також узагальнення їх результатів; економічна частина; охорона праці та безпека життєдіяльності.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень/слайдів) —Титульний аркуш; мета роботи та завдання; аналіз існуючих технологій отримання ванадієвих покриттів; результати експериментальних досліджень; економічна частина; охорона праці; висновки

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	Берладір Х.В.	10.11.2023	10.12.2023
Охорона праці	Говорун Т.П.	16.11.2023	16.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формулювання мети роботи	Листопад 2023	Виконано
2	Літературний огляд	Листопад 2023	Виконано
3	Огляд існуючих методів дослідження	Листопад 2023	Виконано
4	Експериментальна частина	Грудень 2023	Виконано
5	Економічна частина	Грудень 2023	Виконано
6	Охорона праці	Грудень 2023	Виконано
7	Висновки	Грудень 2023	Виконано

7. Дата видачі завдання _____

Студент Кізя О.С.

(підпис)

Керівник проекту Дегула А.І.

(підпис)

АНОТАЦІ

Кізя Олексій Сергійович. Дослідження технології отримання, структури та властивостей зносостійких ванадієвих покриттів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2023.

Робота присвячена аналізу сучасних методів отримання зносостійких ванадієвих покриттів та дослідженню їх властивостей.

За результатами проведених досліджень встановлено вплив технології отримання ванадієвих покриттів на мікроструктуру дослідних зразків; зміни структурно-фазового стану в залежності від складу і концентрацій насичуючих компонентів; вивчено механічні властивості деталей з одержаними покриттями і виявлені закономірності їх утворення.

Підтверджено, що кількість вуглецю, а також легувальних елементів в сталі впливає на товщину та мікротвердість карбідних покриттів. Збільшення кількості вуглецю у сталі призводить до збільшення товщини покриття. Збільшення кількості легувальних елементів (особливо тих, що мають карбідоутворювальні властивості) призводить до зменшення товщини покриття і незначного збільшення його мікротвердості.

Ключові слова: СТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВАНАДІЮВАННЯ, ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ, МЕЖА МІЦНОСТІ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, КАРБІДИ, ДИФУЗІЯ, ЛЕГУВАННЯ, МЕТАЛІЗАЦІЯ

ABSTRACTS

Kizya Oleksiy Serhiyovych. Research of production technology, structure and properties of wear-resistant vanadium coatings. - Manuscript.

Qualification work for master's qualification in specialty 132 - Materials Science. – Sumy State University, Sumy, 2023.

The work is devoted to the analysis of modern methods of obtaining wear-resistant vanadium coatings and the study of their properties.

Based on the results of the research, the impact of the vanadium coating technology on the microstructure of the test samples was determined; changes in the structural-phase state depending on the composition and concentrations of saturating components; the mechanical properties of parts with the obtained coatings were studied and the regularities of their formation were revealed.

It has been confirmed that the amount of carbon and alloying elements in steel affects the thickness and microhardness of carbide coatings. An increase in the amount of carbon in steel leads to an increase in the thickness of the coating. An increase in the number of alloying elements (especially those with carbide-forming properties) leads to a decrease in the thickness of the coating and a slight increase in its microhardness.

Keywords: STRUCTURE, HARDNESS, HEAT TREATMENT, VANADIUM PLATING, PROTECTIVE COATING, STRENGTH LIMIT, WEAR RESISTANCE, CARBIDE, DIFFUSION, ALLOYING, METALIZATION

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРЕНІВ**

ДМ – дифузійна металізація

ХТО – хіміко-термічна обробка

ТО – термічна обробка

МО – методи осадження

ЗП – зносостійкі покриття

ХМ – хромові покриття

CVD – хімічне осадження з парової фази

PVD – Фізичне осадження з парової фази

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра включає в себе 89 сторінок, у тому числі 1 таблиця, 20 рисунків, бібліографії із 37 літературних джерел.

Мета роботи – удосконалення режимів отримання дифузійних зносостійких ванадієвих покриттів способами хіміко-термічної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей деталей.

Завдання дослідження – провести патентно-літературний аналіз сучасного стану і проблеми створення захисних зносостійких покриттів для деталей машинобудівного комплексу; дослідити мікроструктуру зразків і проаналізувати зміни структурно-фазового стану; виконати дослідження механічних властивостей зразків після дифузійної металізації.

Об'єкт дослідження – процес отримання захисних ванадієвих покриттів, зміна структури та механічних властивостей конструкційних вуглецевих та низьколегованих сталей.

Предмет дослідження – конструкційні сталі і тверді сплави із захисними ванадієвими покриттями.

Методи досліджень – експериментальні дані отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей захисних покриттів і сучасних мікроскопічних і металографічних методів дослідження.

Наукова новизна: Підтверджено закономірності формування структури та фазового складу дифузійних ванадієвих покриттів, а також механічних властивостей поверхневих шарів виробів, які працюють в умовах тертя-зношування. Показано залежність фізико-механічних характеристик покриття в залежності від температурно-часових умов проведення технологічного процесу.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМЕНІВ.....	6
РЕФЕРАТ.....	7
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1.	
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	
	12
1.1 Методи отримання покриттів	12
1.2 Обґрунтування ванадіювання, як способу модифікації поверхні.....	31
1.3 Патентний огляд за темою досліджень.....	32
Висновки	33
РОЗДІЛ 2	
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
	34
2.1 Мікроструктурний аналіз	34
2.2 Визначення твердості	38
2.3 Метод вимірювання мікротвердості	41
2.4 Рентгеноструктурний аналіз	43
Висновки	45
РОЗДІЛ 3.	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
	47
3.1. Фазовий склад покриттів	47
3.2 Хімічний склад покриттів	50
3.3 Мікроструктура покриттів	54
Висновок	56
РОЗДІЛ 4.	
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	
	58
4.1 Теоретича частина.....	58
4.2 Розрахункова частина.....	61

Висновок.....	65
РОЗДІЛ 5.	
ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ОТРИАННІ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ.....	67
5.1 Характеристики процесів отримання ванадієвих покриттів	67
5.2 Основні питання з охорони праці і техніки безпеки.....	68
5.2.1 Загальна характеристика умов праці.....	69
5.2.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика.....	73
5.2.3 Аналіз умов праці та пожежної безпеки.....	75
5.3. Техніка безпеки при отриманні ванадієвих покриттів.....	81
5.4 Охорона довкілля при отриманні ванадієвих покриттів.....	84
Висновок	84
ВИСНОВОК.....	86
Список використаних джерел.....	87

ВСТУП

Тонкі плівки оксидів ванадію є перспективним матеріалом сенсорної електроніки завдяки наявності фазового переходу «метал-діелектрик». Тому переважна кількість досліджень стосується різних аспектів формування та використання саме оксидів ванадію.

Однак не менший практичний інтерес представляють і тонкі плівки ванадію, які можуть застосовуватися, наприклад, в якості адгезійного підшару, дифузійного бар'єру або захисного покриття чи як потенційних матеріалів у термоядерній промисловості завдяки його особливим механічним властивостям при опроміненні та при підвищених температурах. Їх одержують зазвичай або магнетронним осадженням, або за допомогою електронно-променевої гармати у надвисокому вакуумі.

Але висока спорідненість Ванадію та Оксигену створює проблему його взаємодії як з елементами підкладки, так і з домішковими атомами Оксигену залишкової атмосфери.

Така взаємодія може істотно вплинути на виготовлення пристрою та погіршити відтворюваність властивостей. Перш за все, це стосується електричних та оптичних властивостей, які досить добре досліджено.

З точки зору магнетних властивостей процеси оксидування у тонких плівках ванадію також важливі. Явище магнетизму на поверхні перехідних металів використовується при створенні магнетнооптичних високощільних носіїв інформації. Парамагнетний ванадій може ставати феромагнетиком у двох моношарах на поверхні Ag(100) и Fe(100), однак магнетний момент надзвичайно чутливий до забруднення Оксигеном.

В системі V-O наявні більше 20 сполук, більшість з яких мають стехіометричний склад (із вмістом Оксигену від 60 ат.%) і досить добре вивчено.

Оксиди ванадію, що належать до області діаграми із вмістом Оксигену < 60%, не є стехіометричними сполуками. Області гомогенності даних оксидів постійно уточнюються, а процеси їх формування, особливо у тонких плівках, вивчені недостатньо. Розчинність Оксигену в масивному ванадії (В-фаза) складає від 4% (Ткімн) до 17% (1665°C). При утворенні твердого розчину атоми Оксигену розташовуються в октаедричних порах, ОЦК-ґратниця ванадію спотворюється та трансформується в об'ємноцентровану тетрагональну. Оскільки кут між осями а та с трохи більший за 90°, тому пропонується вважати її псевдотетрагональною.

Тип підкладки суттєво впливає на структуру тонких плівок ванадію та процеси окиснення при відпалі. На відміну від відпалу у атмосфері кисню, який зазвичай використовується для формування стехіометричних оксидів ванадію, у даній роботі зразки відпалюються за низького вакууму у 103 Па, що створює можливість дослідити початкові стадії оксидоутворення. Ще однією особливістю є використання синхротронного випромінення для проведення структурних досліджень і визначення параметрів кристалічної ґратниці. І, нарешті, використана методика осадження уможливила одержати нанокристалічні плівки ванадію.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Методи отримання покриттів

1.1.1 Фізичні методи та засоби отримання покриттів

Методи утворення покриттів термовакuumним напилюванням.

Покриття при вакуумному конденсаційному напилюванні формуються з потоку частинок, що знаходяться в атомарному, молекулярному або йонізованому стані. Потік частинок отримують розпиленням матеріалу за допомогою впливу на нього різними енергетичними джерелами.

Розрізняють розпилення матеріалу, який наносять, методом термічного випаровування, вибухового випаровування, йонним розпиленням твердого матеріалу [32].

Процес вакуумного конденсаційного напилювання проводять у герметичних камерах при тиску $13,3 \dots 133 \cdot 10^{-3}$ Па. Завдяки цьому забезпечується необхідна довжина вільного пробігу розпилюваних частинок і захист процесу від взаємодії з атмосферними газами [32].

Перенесення частинок у напрямку до поверхні напилювання виникає внаслідок різниці в парціальних тисках парової фази. Найбільш високі тиски пари, що досягають 133 Па і більше, спостерігаються поблизу поверхні розпилення (випаровування).

Це й обумовлює переміщення частинок у напрямку напилюваного виробу, де тиск пари мінімальний. Інші сили переносу можуть бути введені для частинок, що знаходяться в потоці в йонізованому стані.[32]

У цьому відношенні напилювання покриттів з йонізованих парових потоків переважає. Крім того, йонізовані частинки мають більшу енергію. Це полегшує формування покриттів високої якості .

Узагальнена схема процесу вакуумного конденсаційного напилювання покриттів показана на рисунку 1.1.

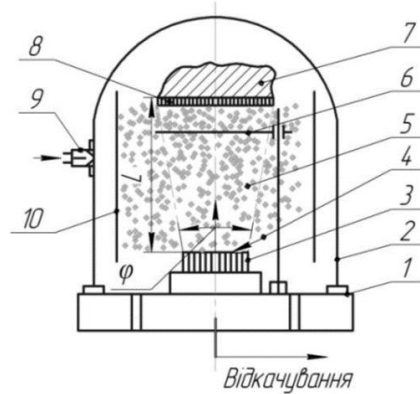


Рисунок 1.1 – Схема процесу нанесення вакуумно-конденсаційного напилення: 1 - Нижня пластина; 2 - Вакуумна камера; 3 - Розпилюваний матеріал; 4 - Розпилювач матеріалу; 5 - Потік частинок, що розпилюються; 6 - Демпфер; 7 - Розпилюваний продукт; 8 - Покриття; 9 - Робочий газовий наповнювач; 10 - екран.

Вибір методу напилювання і його різновидів (способів) визначається вимогами, що ставляться до покриттів з урахуванням економічної ефективності, продуктивності, простоти керування, автоматизації тощо.

Найбільш перспективні способи вакуумного конденсаційного напилювання з йонізацією потоку розпилюваних частинок, стимульовані плазмою. Часто їх називають йонно-плазмовими.[32]

Напилювання конденсацією з парової (газової) фази визначає групу методів напилювання тонких плівок у вакуумі, в яких покриття формується шляхом прямої конденсації пари [32].

Йонно-плазмові методи отримання тонких плівок.

Йонно-плазмове розпилення – метод вакуумного напилювання, в якому осаджуваний атомарний потік отримують в результаті бомбардування прискореними йонами поверхні початкового напилюваного матеріалу і подальшої інжекції розпорошених атомів в газову фазу.

Йонно-плазмові методи отримали широке поширення в технології електронних засобів завдяки своїй універсальності та ряду переваг у порівнянні з іншими технологічними методами.[32]

Універсальність визначається тим, що з їх допомогою можна здійснювати різні технологічні операції: формувати тонкі плівки на поверхні підкладки, травити поверхню підкладки з метою створення на ній заданого малюнка інтегральної мікросхеми, здійснювати очищення поверхні.

До переваги йонно-плазмових методів відноситься висока керованість процесом; можливість отримання плівок тугоплавких матеріалів, хімічних сполук і сплавів заданого складу; краща адгезія плівок до поверхні тощо.

Суть методів йонно-плазмового напилювання тонких плівок полягає в обробці поверхні мішені-речовини йонами і вибиванні атомів (молекул) з мішені. Енергія йонів при цьому досягає кількох тисяч електрон-вольт.

Утворений атомний потік прямує на підкладку, де відбувається конденсація речовини і формується плівка.[32]

Розрізняють йонно-променеве розпорошення, здійснюване бомбардуванням мішені пучком прискорених йонів, сформованим в автономному йонному джерелі, і власне йонно-плазмове розпилення, при якому мішень є одним з електродів у газорозрядній камері, а її бомбардування здійснюється йонами, що утворюються в результаті газового розряду.

Для розпилення мішені використовуються йони інертних газів (зазвичай аргон високої чистоти). Джерелом йонів служить або самостійний тліючий розряд, або плазма несамостійного розряду (дугового або високочастотного).

У виробництві застосовують різні процеси йонно-плазмового напилювання, що відрізняються:

- характером живлячої напруги (постійна, змінна, високочастотна);
- способом збудження і підтримки розряду (автоелектронна емісія, термоемісія, магнітне поле, електричне високочастотне поле);
- кількістю електродів у газорозрядній камері (двохелектродні, трьохелектродні та багатоелектродні системи).

Характер взаємодії бомбардуючих йонів з поверхнею твердого тіла визначається їх енергією. При енергіях менших 5 еВ, взаємодія обмежується фізично і хімічно адсорбованими шарами, викликаючи їх десорбцію і обумовлюючи протікання різних хімічних реакцій [32].

При кінетичних енергіях, що перевищують енергію зв'язку атомів в кристалічній решітці, бомбардування викликає руйнування приповерхневого шару і викид атомів в газову фазу (розпилення).

Мінімальна енергія йонів, що призводить до вибивання атомів з поверхні, називається пороговою енергією розпилення. Її величина знаходиться в інтервалі енергій від 15 до 30 еВ.[32]

Характеристикою процесу йонного розпилення служить коефіцієнт розпилення, який визначається кількістю атомів, вибитих з поверхні, що бомбардується, падаючим йоном.

При зростанні енергії бомбардуючих йонів понад 100 еВ коефіцієнт розпилення різко збільшується і в області 5...10 кеВ виходить на насичення.

Подальше підвищення кінетичної енергії понад 100 кеВ призводить до зниження розпилення викликаного радіаційними ефектами і впровадженнями йонів в кристалічну решітку.

Розпилення викликається передачею імпульсу енергії від бомбардуючої частки атомам кристалічної решітки в результаті серії послідовних зіткнень.

Передача імпульсу від йонів відбувається в перших атомних шарах кристалічних ґраток.[32]

Наприклад, при бомбардуванні поверхні полікристалічної міді йонами аргону з енергією 1 кеВ глибина проникнення становить три атомні шари.

Найбільш поширеним у виробництві джерелом йонів є інертний газ аргон, що має масу, достатню для розпилення і характеризується відносно малою вартістю [32].

В установках потік атомів створюється в результаті бомбардування йонами плазмового розряду поверхні початкового напилюваного матеріалу, що знаходиться під негативним потенціалом або тліючого розряду (йонно-

плазмове розпилення, різновидами якого є катодне, магнетронне розпилення), що є катодом, або за рахунок бомбардування прискореними йонами, емітованими автономним джерелом (йонно-променево розпилення).

Іонно-променевий метод отримання тонких плівок.

Тонкі плівки з різних матеріалів можна наносити на підкладку шляхом розпилення матеріалу мішені пучком іонів інертного газу. Основна перевага

Порівняння між цим методом покриття та методом плазмового напилення виглядає наступним чином:

- можливість нанесення тонких плівок матеріалів складного складу зі збереженням складу мішені;
- Робочий тиск технологічної камери є низьким і обмежується лише швидкістю відкачування вакуумної системи та не обмежується підтримкою умов нагнітання;
- в зоні підкладки немає електричного поля, що особливо важливо при нанесенні діелектричних плівок на підкладки з електропровідних матеріалів;
- Можливість контролювати заряд у нанесених діелектричних плівках за допомогою нейтралізуючих електронів, що випромінюються катодом.

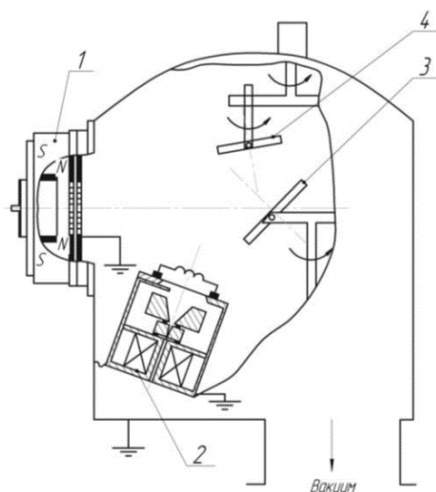


Рисунок 1.2 – Рішення щодо встановлення іонно-променевого розпилення

Іонно-променевий метод найбільш ефективний для покриття тонких плівок багатокомпонентних матеріалів, різних діелектриків і магнітних матеріалів.

Установка іонно-променевого напилення показана на рисунку 1.2.

Пристрій складається з джерела іонів на основі двоступінчастого саморозряду з холодним катодом порожнистим 1 і модифікованого джерела іонів Кауфмана з відкритим кінцем 2. У джерелі іонів 1 використовується пучок іонів аргону з енергією 0,8кеВ і щільністю струму 0,3мА/см² чистотою не менше 99,8%. Прокладки фіксуються в чотирьох положеннях обертового елемента 4 у напрямку потоку матеріалу, що розпилюється.

Потік іонів аргону від джерела 2 іонів з середньою енергією 80 еВ і щільністю струму 0,45 мА/см² використовувався для очищення та активації поверхні робочої підкладки протягом 2 хв перед нанесенням покриття.

У процесі нанесення покриття джерело іонів 2 відключається, припиняється подача газоподібного аргону через джерело іонів 2 і гарячий катод використовується для нагрівання поверхні робочої підкладки. У цьому методі для розпилення використовують пучок частинок високої енергії.[32]

Системи іонних гармат були розроблені для створення потоків частинок з контрольованою енергією.

Іонно-променеве розпилення передбачає бомбардування мішені заданого складу пучком іонів з енергією до 5 кеВ та подальше нанесення розпиленого матеріалу на підкладку. При цьому стехіометрія покриття така ж, як і у мішені.

Ця сучасна технологія спрямована на нанесення прецизійних наночарових покриттів з високою щільністю та низькою шорсткістю.

Іншими перевагами технології іонно-променевого розпилення є можливість проведення реактивних та нерективних процесів в одній камері без переконфігурації (наприклад, покриття Si, SiO₂, Si₃N₄ можна отримати з мішеней Si), покриття можна наносити на термочутливі підкладки (оскільки процес нанесення характеризується температурою до 900° З). Крім того,

нанокомпозитні мішені можна переносити на підкладки без зміни їх властивостей [32].

У більшості випадків іонно-променеве розпилення проводиться при енергіях іонів 0,1...1 кев, що забезпечує збереження холоду підкладки та обмежує радіаційне пошкодження підкладки. При енергії вище 1 МеВ іони проникають настільки глибоко, що розпорошується лише невелика кількість поверхневих атомів і коефіцієнт розпилення знижується.[32]

Тому розпилення є неефективним процесом збільшення енергії іонів. Коефіцієнт розпилення матеріалу залежить від типу іонів, що його бомбардують.

Атомна маса іона є одним із факторів, що визначають імпульс, який може бути переданий атомам підкладки. При іонно-променевому розпиленні найбільш широко використовується інертний газ аргон, оскільки він забезпечує високий коефіцієнт розпилення, дешевий і доступний.

Коефіцієнт розпилення залежить не тільки від властивостей бомбардують іонів, але і від властивостей матеріалу мішені, визначається положенням розпилюючого елемента в таблиці Менделєєва і обернено пропорційний теплоті сублімації.

Матеріали, які зазвичай використовуються в області мікроелектроніки: паладій, платина, золото - мають відносно високі коефіцієнти розпилення, а вуглець, титан і тантал - нижчі.

Апарат іонно-променевого розпилення складається з двох джерел іонів: одного з холодним порожнистим катодом, заснованого на окремому двоступінчастому низьковольтному розряді для мішені, що розпилюється, і іншого з відкритим кінцем для створення допоміжного джерела Кауфмана-Холла. іон. Іонний струм низької енергії .

Іонно-променеве розпилення - це метод анізотропного розпилення з дуже високою роздільною здатністю, що забезпечує високу якість покриттів, відтворюваність та мінімальне забруднення.[32]

Молекулярно-променева епітаксія.

Молекулярно-променева епітаксія – епітаксійне зростання в умовах надвисокого вакууму. Цей метод дозволяє вирощувати гетероструктури заданої товщини з одноатомними гладкими гетеропереходами та заданим профілем легування.

Існують два основні методи епітаксійної технології формування багатошарових структур із надтонкими шарами. Це молекулярно-променева та газофазна епітаксія, у тому числі з використанням металоорганічних сполук та гідридів [32].

Молекулярно-променева епітаксія проводиться у вакуумі і заснована на взаємодії кількох молекулярних променів із нагрітою монокристалічною підкладкою.[32]

Основними перевагами цього методу є: низька температура процесу та висока точність контролю концентрації домішок у сплаві.

Зниження температури процесу може зменшити дифузію домішок та самолегування підкладки. Це дозволяє досягти високоякісних тонких шарів. Легування цим методом є безінерційним (на відміну газофазної епітаксії), що дозволяє отримувати складні профілі легування.

Молекулярно-променева епітаксія завдає пари основних компонентів на нагріту монокристалічну підкладку.

Процес проілюстрований малюнку 1.3, де показані основні елементи, складові з'єднання (GaAs).

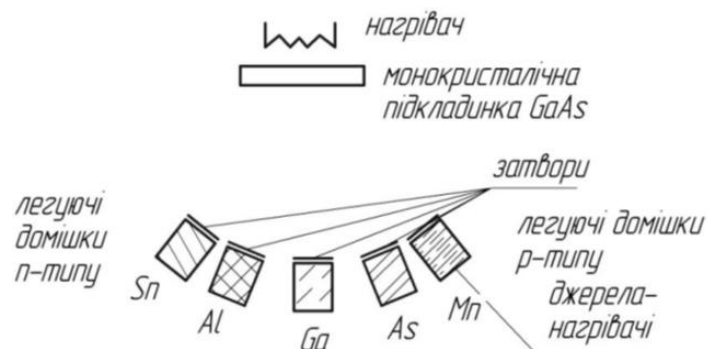


Рисунок 1.3 – Принципова схема апарату молекулярно-променевої епітаксії

Кожен нагрівач містить тигель, який є джерелом одного із складових елементів плівки. Температуру нагрівача вибирають такий, щоб тиск парів матеріалу, що випаровується, було достатнім для формування відповідного молекулярного пучка.

Випарені частинки переносяться на підкладку з відносно високою швидкістю за умов вакууму. Нагрівач мають таке, щоб максимальне значення розподілу інтенсивності пучка перетиналося з підкладкою .

Підбираючи температуру нагрівача та підкладки, можна одержувати плівки складного хімічного складу.[32]

Додатковий контроль над процесом нарощування можливий за допомогою клапана, розташованого між нагрівачем та підкладкою. Використання таких заслін дозволяє різко перервати або відновити вплив будь-якого молекулярного променя на підкладку.

Процеси епітаксії вимагають спеціальних чистих підкладок із атомарно-гладкою поверхнею.

Метод заснований на осадженні частинок, що випаровуються, з молекулярного джерела на кристалічну підкладку.

Джерелом формування молекулярних і атомних пучків є камера, з'єднана з об'ємом високого вакууму через отвори тонких стінках або вузькі капіляри в товстих стінках.

Молекули чи атоми вводяться у камеру джерела як газів чи пари при тисках у сотні паскалей.

Щоб збільшити інтенсивність променя, використовуйте джерело світла з кількома отворами або капілярами, розташованими трохи більше за їх діаметр.

Зіткнення з частинками залишкового газу руйнують молекулярний і атомний пучок, і що вища швидкість, то гірший вакуум .

Довжини молекулярних і атомних пучків в ідеальному вакуумі були б дуже великі, оскільки можливі лише зіткнення, що «наздоганяють».[32]

Хоча ідея досить проста, реалізація цієї технології потребує надзвичайно складних технічних рішень.

Основні вимоги для встановлення розширень такі:

- У робочому приміщенні апарату необхідно підтримувати надзвичайно високий рівень вакууму (близько 10^{-8} Па);

- Чистота матеріалів, що випаровуються, повинна досягати 99,999999%;

- Є джерело молекул, здатних випаровувати тугоплавкі речовини (наприклад, метали), і густину потоку матеріалу можна регулювати.

Характерною рисою епітаксії є низька швидкість зростання плівки (зазвичай менше 1 мікрона на хвилину).

1.1.2 Хімічні методи та засоби отримання покриттів

У галузі приладобудування широкого поширення набули хімічні методи одержання покриттів із матеріалів різної природи, таких як метали, неметали, їх сполуки та органічні сполуки.[32]

Процеси хімічного нанесення покриття діляться на каталітичні та автокаталітичні, причому каталізатором виступає або поверхня виробу, або спеціальне середовище (рідина, газ).

Розчин, в якому відбувається хімічне осадження, містить відновник і сполуки матеріалу, що наноситься. Оскільки каталізатор зазвичай знаходиться на поверхні продукту, осадження покриття відбувається на поверхні, а не об'єм розчину. Гіпофосфіт, боргідрид натрію, формальдегід та гідразин використовуються як відновники при хімічному нанесенні покриттів [32].

Популярність набули також методи нанесення покриттів електрохімічним способом (електрохімічні або гальванічні методи).

Однак, крім очевидних переваг, головним чином швидкості нанесення покриття та міцності зчеплення, методи електрохімічного осадження мають

низку істотних недоліків, що обмежують їх застосування. Нанесення покриттів на вузли утруднено, а елементи вузла виготовляються з безлічі металів та неметалів.[32]

Хімічні методи нанесення покриттів не мають вищезгаданих недоліків і є найбільш поширеним способом формування покриттів.

Хімічний вакуумний метод.

Метод хімічного осадження тонких плівок із газової фази у вакуумі здійснюється шляхом подачі до робочої камери газової суміші, що містить компоненти отриманої плівки [32].

Основними перевагами методів хімічного осадження є широкий діапазон швидкостей осадження та можливість отримання певної кристалічної структури (аж до монокристалів) плівки.

До основних недоліків цього методу відноситься використання токсичних та екологічно шкідливих газових сумішей.

Розглянемо основні методи реалізації цього.

Реактивне катодне розпилення.

На відміну від фізичного розпилення, реактивне катодне розпилення відбувається в тліючому розряді суміші інертних та активних газів.

Розпорошені катодні частинки хімічно взаємодіють з активним газом або утворюють з ним тверді сполуки і в основу надходять нові речовини.

Для того, щоб на катоді не відбувався процес утворення речовини нанесеної плівки (що суттєво утруднило б формування розряду), використовують суміш аргону з вмістом активного газу не більше 10%.

Для отримання оксидних плівок напилення проводять в аргон-кисневій плазмі, нітридів – в аргон-азотній плазмі, карбідів – в аргон-азотній або аргон-метановій плазмі .

Вводячи в камеру різні активні гази, можна отримувати плівки різних сполук, які практично неможливо одержати методом термовакуумного розпилення.[32]

Реактивне катодне розпилення дозволяє не тільки отримувати плівки різного складу, а й керувати їх властивостями, наприклад, питомим опором резистивної плівки. Реактивне розпилення широко використовується виготовлення резисторів високого опору.

Основна технічна складність реактивного катодного розпилення полягає в точному дозуванні активного газу, що подається у вакуумну камеру.

Парофазна МОП-гідридна епітаксія з використанням металоорганічних сполук.

Хімічне осадження з газової фази з використанням металорганічних сполук або МОП-гідридна епітаксія (металорганічне хімічне осадження з парової фази (MOCVD)) - метод епітаксійного росту напівпровідників і т. д. шляхом термічного розкладання (піролізу) металорганічних сполук, що містять необхідні хімічні. як отримати матеріали

МОП-технологія заснована на реакції піролізу летких металоорганічних сполук, таких як триметилгалії (ТМГ) і триметиларсен (ТМА) або триетилгалії (ТЕГ) і триетилфосфін (ТЕФ), з подальшим утворенням на нагрітій основі і заснована на хімічних реакціях. між компонентами[32]

Цей метод не вимагає дорогого обладнання та відрізняється високою продуктивністю. Перевага цього методу також у тому, що хімічна реакція, що протікає, необоротна і в парогазовій суміші відсутні хімічно активні компоненти з шарами росту .

Це дозволяє проводити процес епітаксії при відносно низьких температурах росту та точної подачі вихідних матеріалів, що дозволяє контролювати легування шарів та отримувати структури зі швидкою зміною концентрації у твердому розчині у широкому діапазоні складів.[32]

До недоліків гідридного МОП-методу відносяться висока токсичність вихідних сполук, що використовуються (в основному арсина) і складність хімічних процесів, що призводять до утворення шару GaAs, що ускладнює

моделювання умов. Формування епітаксійних шарів із необхідними властивостями.

Особливістю цього методу є утворення в епітаксійному реакторі високотемпературної зони, в яку надходить газова суміш, що містить з'єднання, що розкладаються.

У цій зоні відбуваються реакції, матеріали поділяються та осаджуються на підкладку, а газоподібні продукти реакцій видаляються потоком газу-носія.

Для отримання сполук АІІВV як носії елементів ІІІ групи використовують металоорганічні сполуки (наприклад, триметилгалій (ТМН) для синтезу GaAs, триметиліндій (ТМІ) для InP або InGaP), а також арсину та фосфіну. Газ виступає як джерело елементів ІІІ групи. В-елемент [32].

Рідкофазна епітаксія.

Рідкофазна епітаксія вирощує монокристалічний шар із розплаву металу, насиченого напівпровідниковим матеріалом, і рекристалізує його на поверхні підкладки.

Компонент із низькою температурою плавлення зростаючої сполуки діє як розчинник. Це знижує температуру кристалізації, підвищує чистоту наплавленого шару та знижує концентрацію вакансій .

Для отримання епітаксійних шарів сполук АІІВV використовуються лише монокристалічні підкладки.[32]

Сутність методу рідкофазної епітаксії полягає в кристалізації розчину з розплаву і залежить від способу видалення розчину з поверхні плівки, тобто способу зливу розчину з поверхні плівки та способу видаляючи силою розчин.

Хімічний безвакуумний метод.

Електрохімічне осадження покриттів.

Електрохімічний спосіб отримання плівок відрізняється від попередніх тим, що робочим середовищем є рідина. Однак природа процесу подібна до іонно-плазмового розпилення, оскільки і плазма, і електроліт

являють собою квазінейтральну суміш іонів і неіонізованих молекул або атомів. І що найголовніше, осадження відбувається поступово (шар за шаром), подібно до напилення, що дає можливість отримувати тонкі плівки.

Електрохімічне осадження засноване на явищі електролізу розчинів, що містять іони потрібних домішок.

Наприклад, якщо потрібно осадити мідь, використовують розчин мідного купоросу, а якщо золото або нікель, то використовують розчин відповідної солі.[32]

Іони металів створюють у розчині позитивний заряд. Тому підкладку необхідно використовувати як катод для осадження металевих плівок.

Якщо підкладка є діелектриком або має погану провідність, поверх неї попередньо наноситься тонкий металевий шар, який виконує роль катода. Субстрат може бути нанесений методом термічного або іонно-плазмового напилення.

Перевага електрохімічного осадження порівняно з напиленням полягає в тому, що швидкість процесу набагато вища, і її можна легко контролювати, змінюючи силу струму.

Тому основною сферою застосування електролізу в мікроелектроніці є отримання відносно товстих плівок ($>10\text{...}20$ мкм).

Хоча якість (структура) таких плівок нижча, ніж при напиленні, ці плівки добре переносяться в багатьох сферах застосування [32].

Один із методів хімічного іонно-плазмового розпилення називається анодуванням. Цей процес полягає в окисленні поверхні металевої плівки (яка знаходиться під позитивним потенціалом) негативними іонами кисню, що надходять із газорозрядної плазми. Це вимагає додавання кисню до інертного газу (як у чисто хімічному розпиленні).

Внаслідок співіснування нейтральних атомів і іонів кисню в плазмі газорозряду (за наявності кисню) хімічне осадження і анодування відбуваються одночасно.

Для переваги анодування над чистим хімічним напиленням металева плівка розміщується на протилежній стороні підкладки від катода, щоб запобігти падінню нейтральних атомів на підкладку. Із зростанням шару оксиду сила струму в колі анода зменшується, оскільки оксид є діелектриком. Для підтримки струму необхідно збільшити напругу живлення [32].

Частина цієї напруги прикладається до мембрани, дозволяючи процесу анодування проходити в умовах високої напруженості електричного поля в оксидній плівці. В результаті була покращена сила витримуваної напруги.

Інші переваги анодування включають високу швидкість окислення і можливість контролювати процес шляхом зміни струму в розрядному ланцюзі. Оксидна плівка, отримана цим методом, має більш високу якість, ніж іншими способами.[32]

Електрохімічні металеві покриття залежно від механізму захисту поділяють на катодні й анодні.

Хімічна рідка металізація.

Хімічна металізація заснована на хімічній «реакції срібного дзеркала» і полягає в нанесенні дзеркального металевого покриття з високою відбивною здатністю на поверхню пластику, пластику, алюмінію та кераміки.

Дзеркальні металізовані поверхні, утворені в результаті хімічної металізації, відрізняються рядом важливих переваг [32].

По-перше, хімічна металізація практична з економічної точки зору, технічно не складна і оптимально сумісна з технологічними процесами.

По-друге, хімічна металізація універсальна.

По-третє, металізовані поверхні, отримані методами хімічної металізації, відрізняються механічними властивостями, особливо високою зносостійкістю і твердістю.

По-четверте, хімічна металізація зручна тим, що розміри деталі практично не обмежені.

По-п'яте, хімічна металізація екологічно нешкідлива і практично не впливає на здоров'я людей і навколишнє середовище.

При використанні методу хімічної металізації технологічний процес здійснюється в три основні стадії.

Спочатку на поверхню деталі наноситься спеціальний шар ґрунту, який стає активним по відношенню до наступного шару металу.

За допомогою обладнання, призначеного для хімічної металізації пластмас, спеціально підготовлені хімічні реагенти розпорошуються на вкриту ґрунтом поверхню, у результаті чого на поверхні утворюється дзеркальне металеве покриття. формується частина.

На завершення на отримане дзеркальне покриття наноситься шар захисного лаку для захисту металізованої поверхні від зміни кольору та механічного стирання. Після затвердіння та висихання захисного лаку металізоване покриття виглядає точно так само, як покриття, нанесене електrolітичним осадженням .

Додаючи до захисних лаків кольорові пігментні тонери, можна надати покриттям вигляду хрому, алюмінію, золота, міді, бронзи та інших металів і сплавів.[32]

Процес хімічної металізації буває каталітичним або автокаталітичним, а каталізатором є поверхня виробу. Використовуваний розчин містить відновник і з'єднання нанесеного металу.

Оскільки каталізатор є поверхнею продукту, виділення металу відбувається на поверхні, а не в об'ємі розчину.

Існують способи хімічного покриття металевих виробів нікелем, кобальтом, залізом, паладієм, платиною, міддю, золотом, сріблом, родієм, рутенієм і деякими сплавами на основі цих металів.

Як відновник використовують гіпофосфіт, борогідрид натрію, формальдегід, гідразин.

Металеві покриття діляться на дві групи.

До першої групи належать покриття для сплавів на основі заліза (нікелю, срібла, міді, свинцю, хрому).

Вони більш електропозитивні порівняно з залізом. Тобто в електрохімічному ряді напруги метал знаходиться праворуч від заліза.

До другої групи відносяться цинк, кадмій і алюміній. Вони більш електронегативні порівняно з залізом.

Металеві покриття захищають залізо від корозії, зберігаючи його цілісність. Коли цілісність покриття продукту порушується, корозія відбувається більш серйозно, ніж без покриття .

Це пояснюється поведінкою гальванічних елементів з чорних металів. Тріщини і подряпини заповнюються вологою, в результаті чого утворюються розчини і іонні процеси, які прискорюють розвиток електрохімічних процесів (корозії).[32]

Електрохімічні методи мають ряд істотних недоліків, що обмежують їх використання. До них відносяться нерівномірний розподіл покриттів на деталях зі складним профілем, труднощі з нанесенням покриттів на вузли, де елементи виготовлені з різних металів і неметалів і т.д.

1.1.3 Дифузійні методи отримання покриттів .

Насичення поверхні сталі алюмінієм, титаном, хромом, цинком та іншими елементами називають дифузійним насиченням металом. Вироби, збагачені цими елементами на поверхні, набувають таких цінних властивостей, як висока термостійкість, стійкість до корозії, підвищена зносостійкість, твердість [33].

Залежно від способу перенесення дифузійних елементів на поверхню, що насичується, розрізняють основні способи дифузійного насичення металами:

1) Занурення в розплавлений метал, якщо дифузійний елемент має низьку температуру плавлення (алюміній, цинк тощо).

2) Насичення розплавами солей, що містять дифузійні елементи (з або без електролізу).

3) Насичення від сублімованої фази за рахунок випаровування дифузійного елемента.

4) Насичення з газової фази, що складається з галогенних сполук дифундуючих елементів (контактний і безконтактний методи).

Дифузійні покриття для ЗГТ зазвичай наносять в ізотермічних умовах у штучно створеному активному середовищі. Оптимальні температурно-часові умови насичення вибираються так, щоб максимізувати ефективність дифузії легуючих елементів або введених атомів і отримати покриття значної товщини за відносно короткий час. Мінімальна температура, що забезпечує процес дифузії, зазвичай встановлюється експериментально .

Існує багато важливих аспектів методу дифузійного насичення, таких як високе споживання енергії та тривалий час процесу, знижена чистота поверхні продукту або вибухонебезпечність і забруднення повітря, спричинені продуктами реакції.[33]

Використовуючи метод насиченої циркуляції, можна усунути багато недоліків. Він заснований на явищі руху дифузійних елементів у замкнутому реакційному просторі під час систематичного відновлення газу-носія в результаті зворотної хімічної реакції. Цей метод детально описано в дослідженні, де автори використовували його для отримання корозійностійких титанвмісних покриттів на вуглецевій конструкційній сталі.

У даній роботі розглядається спосіб осадження карбідів з газової фази, який включає складний фізико-хімічний процес. Застосування карбідів цим методом засноване на каталітичному осадженні дифундованих елементів або сполук з газової фази в результаті гетерогенної хімічної реакції на поверхні оброблюваного матеріалу[33].

1.2 Обґрунтування ванадіювання, як способу модифікації поверхні

Ванадій є м'яким, блискучим, сріблястим металом і його елементарна форма, ванадій має блакитно-сріблястий вигляд. Ванадій міститься в 65 різних мінералах, а також фосфорит, деякі залізні руди, трохи сирої олії (у вигляді комплексів) і метеорити. Деякі з найважливіших мінералів, у яких міститься ванадій, включають карнотит, розкоеліт, ванадиніт і патроніт. Однак у природі ванадій не зустрічається у вільному вигляді, після ізоляції він утворює оксидний шар, який стабілізує вільний метал від подальшого окислення.[34]

Чистий ванадій протистоїть корозії завдяки утворенню на його поверхні захисної оксидної плівки; на нього впливають концентровані кислоти, але не розплавлені луги. Основне використання ванадію як легуючий компонент, особливо в сталях, де він вводиться як ферованадій, сплав заліза і ванадію. Додавання ванадію до сталі видаляє закритий кисень і азот, тим самим покращуючи матеріали' силу.[34]

Це важко, пластичний перехідний метал, який в основному використовується як добавка до сталі та в таких сплавах, як титан-6AL-4V, який складається з титану, алюмінію, і ванадій і є найпоширенішим комерційно виробленим титановим сплавом. Ванадій (атомний символ: V, атомний номер: 23) - це блок D, Група 5, Період 4 елемент з атомною вагою 50.9415. Ванадій був відкритий Андресом Мануелем дель Ріо в 1801 і вперше виділений Нільсом Габріелем Сефстремом у 1830. За цим словом було названо ванадій "Ванадіс" означає богиню краси в скандинавській міфології. Комерційно, ванадій отримують шляхом відновлення трихлориду ванадію металевим магнієм або сумішшю магнію та натрію або шляхом відновлення V₂O₅ кальцієм у посудині під тиском.[34]

1.3 Патентний огляд за темою досліджень [35]

Спосіб селективного та експресного визначення концентрації ванадію

Спосіб визначення концентрацій ванадію (V) в об'єктах різної природи полягає в тому, що в аналізованій пробі встановлюють відповідне значення кислотності середовища (рН 0), додають розчин кармоазину та після нагрівання одержаної суміші вводять 25 об. % етилового спирту, що приводить до зниження мінімальної межі визначення і дозволяє визначати менші концентрації ванадію (V) в об'єктах різної природи без проведення стадії попереднього концентрування і відокремлення ванадію від супутніх іонів.

Спосіб нанесення покриттів сплавом кобальт-молібден-ванадій[36]

Спосіб нанесення покриттів сплавом кобальт-молібден-ванадій, що проводять постійним струмом густиною 5-11 А/дм² у комплексному цитратному електроліті, що включає кобальту сульфат, натрію цитрат, оксид ванадію (V), рН 2,8-3,3, при температурі 35-40 °С, який відрізняється тим, що додатково містить натрію молібдат.

Спосіб отримання ванадію високої чистоти[37].

Спосіб отримання ванадію високої чистоти, що включає алюмотермічне відновлення ванадійсодержащего сировини, плавку відновленого ванадію в електронно-променевих печах, електролітичне рафінування отриманих злитків в розплаві солей, який відрізняється тим, що електролітичне рафінування ведуть з отриманням порошку ванадію, змішують його з кальцій, та/або рідкісноземельні метали, та/або алюміній, суміш компактують з приготуванням електродів, які піддають додатковому тристадійному переплаву в електронно-променевих печах у вакуумі.

Висновок

Аналіз літературних даних показує, що нанесення ванадієвих покриттів на поверхню деталей, які працюють в умовах тертя-зношування дозволяє підвищити їх надійність та довговічність.

Повсюди визнана необхідність розробки нових технологій поверхневого зміцнення для економії дефіцитних матеріалів.

Також досить широко розповсюджено використання поверхневих зносостійких покриттів для підвищення властивостей ріжучого інструменту.

Виходячи з вище наведеного закономірна тенденція заміни об'ємного зміцнення деталей легуванням і різноманітними способами термообробки – поверхневим зміцненням. Це дозволяє з меншими затратами і при досить незначній ступені легування основного конструкційного матеріалу на практиці реалізувати високоміцний стан.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

2.1 Мікроструктурний аналіз

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) металів і сплавів полягає в дослідженні будови (мікроструктури) металу за допомогою оптичного (при збільшенні від 50 до 1500 разів) або електронного (при збільшенні до 100000 разів) мікроскопа. Між мікроструктурою металів та їх властивостями існує чіткий зв'язок. Мікроаналіз дозволяє визначити форму і розміри окремих зерен і фаз, а також їх вміст, відносне розташування, виявити наявність у металі включень, мікродфектів і судити про властивості металів і сплавів, про попередню обробку цих матеріалів (лиття, деформування, термічна обробка). Мікроаналізу піддають спеціально підготовлені зразки, які називають мікрошліфами.[2]

Мікрошліфи готують у такий спосіб. Місце вирізання зразка вибирають залежно від задач дослідження (у ряді випадків порядок і місце вирізання строго регламентуються Держстандартами). У випадку з'ясування причин руйнації деталей під час експлуатації зразки вирізають поблизу місця руйнації ножівкою, фрезою, різцем, алмазними, вулканітовими кругами або електроіскровим методом. При вирізанні і наступному шліфуванні зразка неприпустиме значне нагрівання (вище 150 °С), тому що воно може викликати суттєві структурні зміни металу.[2]

Зазвичай зразки мають форму циліндра або чотиригранника з лінійними розмірами 10...20 мм. У випадку, коли розміри мікрошліфів малі (дріт, тонкий лист, дрібні деталі), останні закріплюють у спеціальних затискачах (струбцинах) або заливають в оправки такими матеріалами як

сплав Вуда (50 % Вi, 25 % Рb, 12,5 % Sn, 12,5 % Cd) з температурою плавлення 68 °С, епоксидні або акрилові смоли, пластмаси.[2]

Поверхню зразка роблять плоскою і шліфують вручну або на верстатах наждачним папером різної зернистості (різних номерів): спочатку, для чорнового шліфування, беруть більш грубий папір (номери 12 ... 6), а потім, для чистового, заключного шліфування – папір номерів 5 ... 3 (номер визначає приблизний розмір абразивних зерен в сотих частках міліметра). Якщо шліфування ведуть вручну, шліфувальний папір кладуть на рівну плоску поверхню (наприклад, на товсте скло) і зразок переміщують по ньому в одному напрямі, перпендикулярному до слідів (рисок), що залишилися після попередньої обробки до повного зникнення цих слідів. Після шліфування залишки абразиву змивають водою з поверхні шліфа. Потім для видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування найдрібнішою шкуркою, зразок полірують.[2]

Існуючі способи полірування засновані на механічному або електрохімічному способі видалення матеріалу, або ж на їх комбінації. Механічне полірування ведуть на полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий тканиною (фетр, оксамит, тонке сукно). Тканину періодично поливають водною суспензією, що містить дрібні абразивні частки оксидів алюмінію, хрому або заліза. Добрим полірувальним матеріалом є алмазні пасти, паста ГОІ. Коли поверхня набуває дзеркального блиску, полірування припиняють. На якісно відполірованому мікрошліфі при спостереженні під мікроскопом відсутні риси, подряпини та інші механічні дефекти.[2]

Мікрошліф промивають водою, потім спиртом, просушують стиснутим повітрям або фільтрувальним папером. Після полірування під мікроскопом спочатку вивчають нетравлений шліф, потім – протравлений.

При вивченні нетравленого шліфа можна виявити різноманітні мікроефекти, наприклад мікротріщини, та неметалеві включення (оксиди, сульфід, графіт - рис. 2.1) в металевій основі, яка має світлий колір при спостереженні під мікроскопом. Після перегляду нетравленого мікрошліфа

його піддають травленню, щоб виявити мікроструктуру металевої основи шліфа. Для сталі та чавуну найчастіше застосовують 2...5%-овий розчин азотної кислоти в етиловому спирті. Поліровану поверхню шліфа занурюють у реактив на 3 ... 10 с до утворення рівного матового відтінку без наявності будь-яких плям. Потім шліф промивають водою, спиртом і просушують фільтрувальним папером.

Внаслідок неоднакової протравлюваності різних структурних складових на поверхні мікрошліфа утворюється мікрорельєф, складові якого по – різному відбивають світло, що падає на поверхню шліфа через оптичну систему мікроскопа. Структура, що розчинилась на більшу глибину, під мікроскопом має темний колір, а структура, яка розчинилась менше, має світлий колір (рис. 2.1, а, в). Границі зерен будуть видні у вигляді тонкої темної сітки (рис. 2.1, б, г).

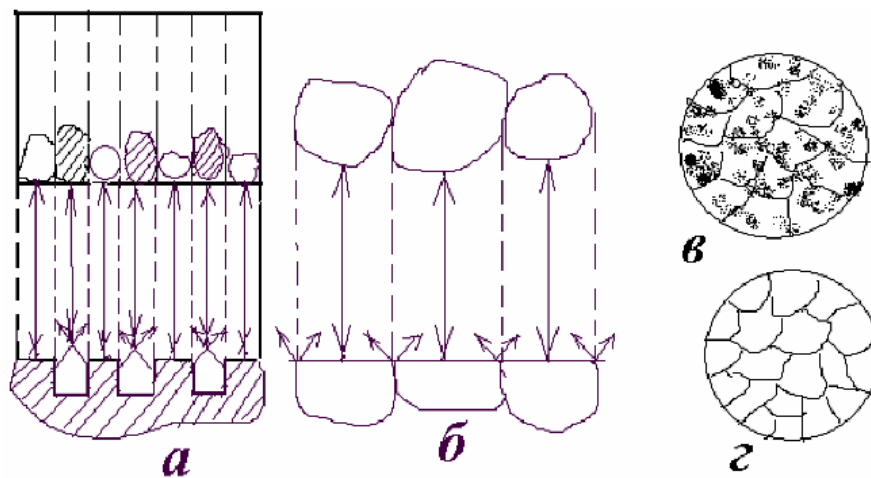


Рисунок 2.1 – Схеми, які пояснюють видимість протравлених шліфів під мікроскопом: а, в – зерна у впадинах – темного кольору, виступаючі – світлого; б, г – границі зерен металів і твердих розчинів.

Будова металу, що спостерігається під мікроскопом, називається мікроструктурою (microstructure), яка є зображенням досить малої ділянки поверхні, складена з відбитих від неї світлових променів.

Загальний вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7 показано на рис. 2.2. Він складається з таких основних систем: оптичної, освітлювальної з фотографічною апаратурою і механічної.[2]

Оптична система мікроскопа включає об'єктив і окуляр, від яких залежить збільшення мікроскопа, і ряд допоміжних елементів (призми, дзеркала, лінзи й ін.). Об'єктив, що є складним сполученням лінз, дає дійсне збільшене обернене зображення мікроструктури мікрошліфа. Окуляр складається з декількох лінз і призначений для збільшення зображення, отриманого об'єктивом, і перетворення його з оберненого в пряме. Збільшення мікроскопа визначається добутком збільшення окуляра на збільшення об'єктива.

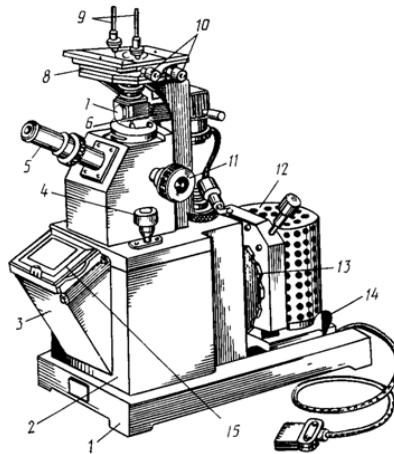


Рисунок 2.2 - Загальний вигляд мікроскопу МИМ – 7

1 - основа, 2 - корпус, 3 - фотокамера, 4 - мікрометричний гвинт, 5 - візуальний тубус з окуляром, 6 - ручка ілюмінатора, 7 - ілюмінатор, 8 - предметний столик, 9 - клеми, 10 - гвинти переміщення столика, 11 - макрометричний гвинт, 12 - освітлювач, 13 - ручка світлофільтрів, 14 - стопорний пристрій освітлювача, 15 - рамка з матовим склом.[2]

В освітлювальну систему мікроскопа входять джерело світла, серія лінз, світлофільтрів і діафрагм. Джерелом світла є електрична лампа (17 В), що включається в мережу через понижувальний трансформатор.

Вивчення протравленого шліфа дозволяє вирішувати ряд задач при аналізі мікроструктурної будови металу або сплаву: встановлювати кількість структурних складових сплаву та характер їх розташування; величину зерен (шляхом їх зіставлення зі спеціально встановленою шкалою або безпосереднім вимірюванням, знаючи величину збільшення); вид термічної обробки і правильність вибору її режиму (температури нагрівання, швидкості охолодження); приблизний вміст деяких елементів, наприклад, вуглецю у відпалених сталях.

Між структурою та властивостями металів і сплавів існує пряма залежність. Тому в практиці металознавства мікроаналіз є одним з основних методів, які дозволяють вивчати будову металів і сплавів, а, отже, отримувати дані про їх властивості.[2]

2.2 Визначення твердості

В випробувальній лабораторії визначення твердості за Брінеллем проводиться на стаціонарному твердомірі UIT HBW-1.



Рисунок 2.3 - Твердомір за Брінеллем

Метод вимірювання твердості за Брінеллем полягає у вдавленні кульки з твердого сплаву в зразок під дією зусилля, прикладеного перпендикулярно поверхні зразка протягом певного часу і вимірі діаметра відбитка після зняття зусилля.[5]

Вимірювання твердості проводиться для металів з твердістю не більше 650 одиниць по HBW для виключення помилок, пов'язаних з можливою деформацією кульки.

Для вимірювання застосовується ряд твердосплавних кульок діаметрами 10,0; 5,0; 2,5 мм.[5]

В Випробувальній лабораторії визначення твердості за Віккерсом проводиться на стаціонарному твердомере UIT HV-30



Рисунок 2.4 - Твердомір за Віккерсом

За цим методом вимірюються твердість чорних, кольорових металів і сплавів при навантаженні від 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (30 кгс).[5]

Вимірювання твердості засноване на вдавлюванні алмазного наконечника (індентора) у формі правильної чотиригранної піраміди з кутом між гранями 136° в зразок (виріб) під дією сили, яка додається протягом певного часу, і вимірі діагоналей відбитка, що залишилися на поверхні зразка після зняття навантаження. В результаті випробувань на поверхні зразка отримують відбиток у вигляді ромба, для якого вимірюють обидві діагоналі і обчислюють їх середнє значення.[5]

Випробувальній лабораторії визначення твердості за Роквеллом проводиться на стаціонарному твердомері UIT HR– 150.



Рисунок 2.5 - Твердомір за Роквеллом

Суть методу визначення твердості за Роквеллом полягає у вдавлюванні в поверхню зразка алмазного конусного або сталевого сферичного наконечника під дією послідовно прикладених зусиль попереднього і основного і у визначенні глибини проникнення наконечника після зняття основного зусилля (ДСТУ EN 6508-1:2013).[5]

Для вимірювання застосовується:

1. Конічний алмазний індентор — відповідно до ISO 6508-2, з кутом 120° та радіусом закруглення 0,2 мм.
2. Кулька індентора з твердого металу — відповідно до ISO 6508-2, діаметр 1,5875 мм або 3,175 мм.

У разі, якщо виріб є великогабаритним, то виміри проводяться за допомогою портативного обладнання ADL D100, ADL DU110.[5]

2.3 Метод вимірювання мікротвердості [30].

Для вивчення властивостей і перетворень в сплавах необхідно не тільки знати усереднену твердість, що представляє собою сумарний вплив присутніх у сплаві фаз і структурних складових, але і визначати твердість окремих фаз і структур сплаву. Мікротвердість визначають вдавненням алмазної піраміди. Прилад, призначений для вимірювання мікротвердості ПМТ-3 має штатив 1 вертикального мікроскопа з тубусом, що переміщається вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 2 і мікрометричного

гвинта 3. На верхній кінець тубуса насаджений окулярний мікрометр 4, а в нижньому кінці закріплені шток 5 з алмазної пірамідою, опакілюмінатор 6 і об'єктиви 7. У опакілюмінаторе є лампочка напругою 6В, що живиться від мережі через трансформатор.[30]

Прилад оснащений двома об'єктивами для перегляду мікрошліфа при збільшеннях у 478 і 135 разів. Окуляр збільшує в 15 разів. Окулярний мікрометр має нерухому сітку, залишковий мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою.[30]

Алмазна піраміда має кут між гранями при вершині 136° , тобто такий же, як і в піраміді для вимірювання по Вікерсом (що полегшує перерахунок на числа Віккерса). Навантаження для вдавнення піраміди створюється вантажами 12, що встановлюються на шток 5. У приладі застосовують вантажі від 1 до 200г в залежності від особливостей досліджуваної структури і завдань дослідження.p[30]

Поверхня досліджуваного зразка шліфують і полірують, а при необхідності піддають травленню.

Підготовлений зразок (мікрошліф) встановлюють на столику 8 і розглядають в окуляр. За допомогою гвинтів столик переміщається в двох напрямках, що дозволяє переміщати мікрошліф і вибрати на ньому ділянку, в якому необхідно виміряти твердість. Ця ділянка необхідно розмістити в центрі поля зору мікроскопа - точно в вершині кута нерухомою сітки. Потім встановлюють вантажі, повертають за допомогою ручки столик на 9 на 180° (від одного упору до іншого) для підведення вибраної ділянки під алмазну піраміду. Після цього повільним поворотом ручки 13

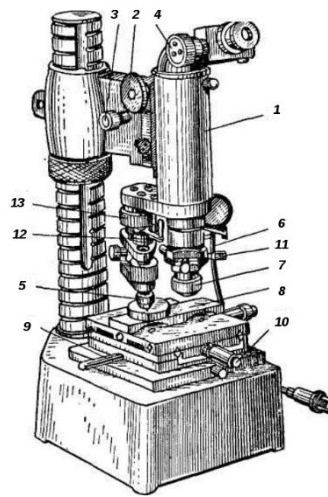


Рисунок 2.6 Схема приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості:

1-мікроскоп; 2-макрометричеській гвинт; 3-мікрометричний гвинт; 4-окулярний мікрометр; 5-шток з алмазної пірамідою; 6-опакіллюмінатор; 7-об'єктив; 8-стіл для установки мікрошліфа; 9-ручка столу; 10-гвинт столу; 11-регулювальні гвинти; 12-вантажі; 13-ручка навантаження

Приблизно на 180° опускають шток з алмазної пірамідою так, щоб алмаз торкнувся зразка. У цьому положенні витримують зразок під навантаженням 5-10с. після чого, повертають ручку 13 в зворотнє положення. Потім повертають столик 8 на 180° і повертають зразок в початкове положення під об'єктив мікроскопа для вимірювання діагоналі відбитка. Потім обертанням гвинтів 11 підводять відбиток до косинці нерухомою сітки таким чином, щоб вершина кутника збігалася з лівим кутом відбитка. Після цього обертанням мікрометричного барабана окуляра підводять вершину кутника рухомий сітки до протилежного кута відбитка. При такому положенні сіток поділу мікрометричного барабанчика вказують довжину діагоналі відбитка. Повертаючи окуляр на 90° , визначають також довжину другої діагоналі і обчислюють середню довжину. Зазначені вимірювання отриманого відбитка проводять не менше 2-3 разів.[30]

2.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз — сукупність методів дослідження структури речовини, заснованих на взаємодії рентгенівського випромінювання з електронами та ядрами атомів, внаслідок чого виникає дифракція рентгенівських променів за рахунок їх розсіювання атомною структурою речовини. Основою Р.а. є пружне розсіювання рентгенівського випромінювання в речовині та виникнення при цьому когерентних вторинних хвиль, які, інтерферуючи між собою, утворюють у просторі дифракційну картину. У широкому розумінні дифракція рентгенівських променів, що зумовлена такою просторовою когерентністю між вторинними хвилями, — явище, що виникає в речовині, яка знаходиться у будь-яких агрегатних станах, і полягає у виявленні відхилених (дифрагованих) променів, спрямованих під визначеними кутами до первинного пучка. Дифракційна картина, що зафіксована, напр., на фотоплівці (рентгенограмі), залежить від агрегатного стану речовини, її структури та експериментального методу. Напр., рентгенограми твердих тіл являють собою закономірно розташовані плями (точки) або систему концентрично розташованих кіл, аморфних тіл, рідин та газів — сукупність ореолів навкруги центральної плями, центр якої перпендикулярний напрямку первинного рентгенівського променя.[31]

Найбільш чітко дифракція рентгенівських променів виражена у твердих тілах, зокрема на монокристалах. Оскільки довжина хвилі рентгенівського випромінювання наближена до міжатомних відстаней у твердих тілах ($\sim 10^{-10}$ м), кристал є природною тривимірною дифракційною решіткою для рентгенівських променів. Для виникнення дифракції необхідно, щоб різниця ходу між паралельними променями, розсіяними атомами, які відповідають сусіднім вузлам кристалічної решітки, дорівнювала б цілому числу довжин хвиль. Якщо на таку тривимірну структуру падає первинне рентгенівське випромінювання з довжиною хвилі

λ , яке утворює кути α_0 , β_0 , γ_0 з головними осями кристалу, то напрямки дифракційних максимумів інтенсивності розсіяного випромінювання відносно тих же осей кристалу будуть задовольняти такі три умови:

$$a(\cos \alpha - \cos \alpha_0) = h\lambda,$$

$$b(\cos \beta - \cos \beta_0) = k\lambda,$$

$$c(\cos \gamma - \cos \gamma_0) = l\lambda,$$

де a , b , c — періоди кристалічної решітки за її трьома головними осями; α , β , γ — кути, утворені розсіяними променями з тими ж осями кристалу; h , k , l — цілі числа (0, 1, 2, 3, ...), що називаються кристалографічними індексами, або індексами Міллера. Ці співвідношення називаються умовами або рівняннями Лауе, які є кількісною основою одного з методів дослідження структури монокристалів — методу Лауе (відповідні рентгенограми називаються лауеграмами). Як показали незалежно Г. Вульф і У. Брегг, рівняння Лауе дозволяють інтерпретувати вторинний дифракційний пучок рентгенівських променів як відбиття від певної системи паралельних внутрішньокристалічних площин з індексами (h , k , l). Умова, що визначає можливі напрямки цих відбиттів, називається рівнянням Вульфа — Брегга:[31]

$$2dhkl \sin \theta = n\lambda,$$

де $dhkl$ — міжплощинні відстані в кристалічній решітці; θ — кут між падаючим на кристал рентгенівським променем і відповідною системою атомних площин (кут ковзання); $n = 1, 2, 3, \dots$ — порядок відбиття.

Оскільки довжина хвилі рентгенівського випромінювання λ звичайно відома, а кут θ (його ще називають бреггівським) можна виміряти експериментально, це рівняння дозволяє визначити міжплощинні відстані $dhkl$ і, отже, сталі кристалічної решітки a , b , c — однозначні характеристики досліджуваної речовини, що й дозволяє її ідентифікувати.

Для дослідження структури полікристалів використовується метод Дебая — Шерера, також заснований на дифракції рентгенівських променів на кристалітах. Оскільки умова Вульфа — Брегга в полікристалах може

одночасно виконуватися для множин сімейств кристалографічних площин з індексами (h, k, l) , рентгенограма полікристалу (дебаєграма), на відміну від лауєграми, являє собою систему концентричних кілець. Кожне кільце складається з відбиттів від певної системи атомних площин (h, k, l) , хаотично зорієнтованих у просторі кристалітів. Дебаєграми, як і лауєграми різноманітних речовин, характерні для кожної кристалічної структури, що також дозволяє ідентифікувати речовини. Крім того, метод Дебая — Шерера застосовується для фазового аналізу речовин, для встановлення розмірів і просторової орієнтації кристалітів, розмірів і форми елементарної кристалічної комірки. Зараз дослідження структури речовини різноманітними методами Р.а. містить не тільки визначення характеристик елементарної кристалічної комірки твердих тіл порівняно простих речовин, але також дозволяє визначати координати всіх атомів багатоатомних органічних молекул аж до білків і нуклеїнових кислот, тобто повністю розшифрувати такі надскладні молекулярні структури. Завдяки комп'ютеризації експерименту та комп'ютерній обробці експериментальних даних ці раніше вельми складні та трудомісткі завдання вирішуються порівняно просто.[31]

Висновок

Щоб отримати повне уявлення про властивості матеріалу та ванадієвих покриттів, необхідно раціонально вибирати методи дослідження. При цьому необхідно враховувати економічну доцільність проведення тих чи інших випробувань.

Використання сучасного обладнання дозволяє отримати максимально достовірні результати та інтенсифікувати процес дослідження. Комплексне застосування різних методів дослідження дозволяє повніше встановити зв'язок між механічними (експлуатаційними) властивостями та змінами у технологічному процесі.

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Фазовий склад покриттів

За результатами рентгеноструктурного аналізу дифузійних покриттів отриманих при різних температурно часових умовах насичення, основною фазою на поверхні після ванадіювання є карбід ванадію VC. Також можуть утворюватися інтерметалід FeV та напів карбід V_2C .

Встановлено, що на поверхні зразків після послідовного комплексного насичення хромом і ванадієм утворюється двошарова структура, яка складається з двох шарів – зовнішній на основі карбиду ванадію – VC, внутрішній на основі карбиду хрому – $Cr_{23}C_6$.

Результати рентгеноструктурного аналізу хромованадієвих покриттів на вуглецевих сталях 45 та У8А підтвердили, що на поверхні формується двошарове карбідне покриття з шарів $Cr_{23}C_6$ і VC.

Період кристалічної ґратки карбиду хрому $Cr_{23}C_6$ на сталі 45 складає $a=1,0691$ нм, а карбиду ванадію VC $a=0,4152$ нм. В той же час параметри кристалічних ґраток на сталі У8А дещо відрізняється і становлять для $Cr_{23}C_6$ $a=1,0700$ нм та для VC $a=0,4162$ нм.

Інтенсивність рентгенівського випромінювання,

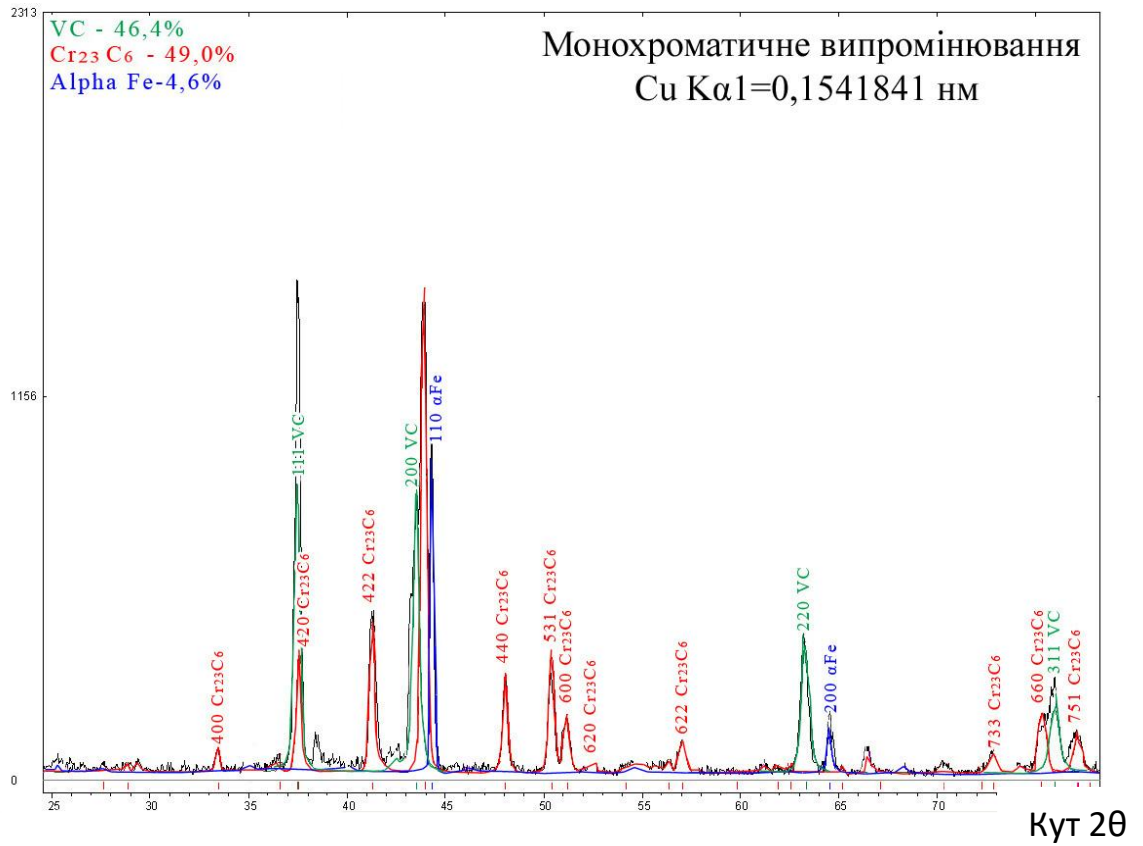


Рис. 3.1. Дифрактограма поверхні сталі 45 після хромованадіювання;

T=1050°C, τ =2год. хромування + 2год. ванадіювання.

ІНТЕНСИВНІСТЬ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ,

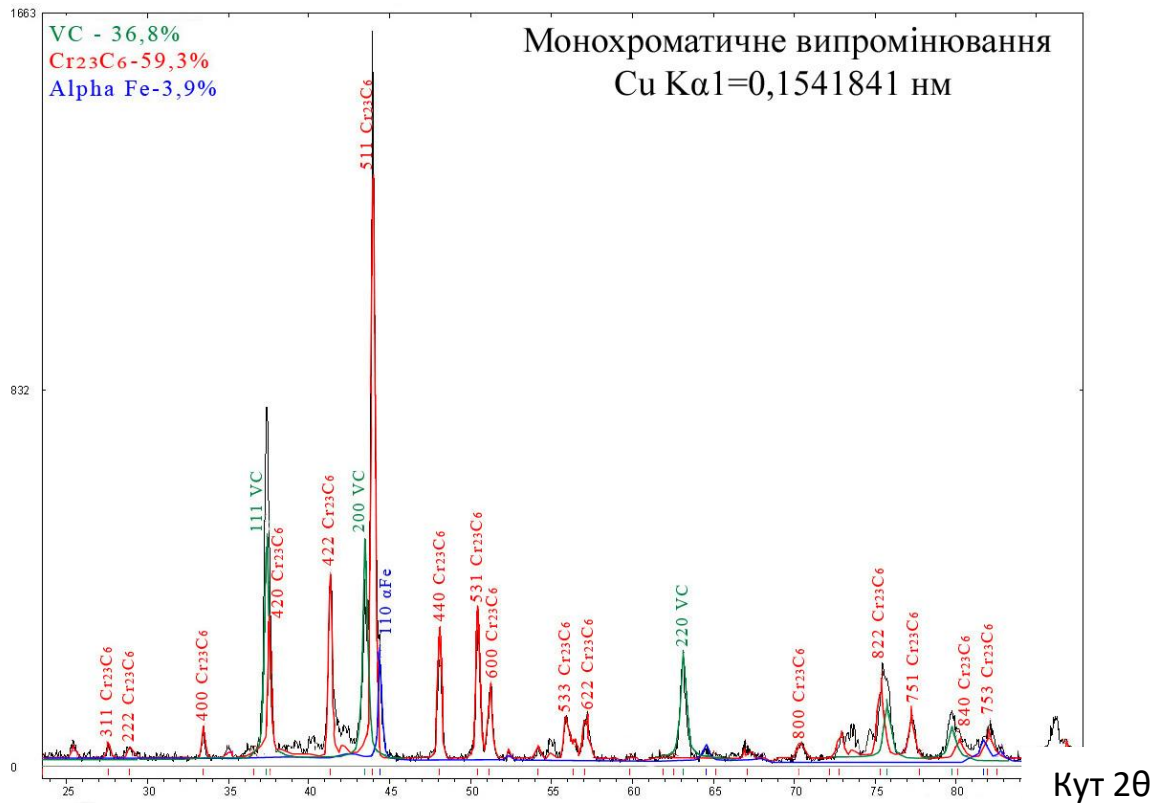


Рис. 3.2. Дифрактограма поверхні сталі У8А після хромованадіювання;

T=1050°C, τ =2год. хромування + 2год. ванадіювання.

Таблиця 3.1

Фазовий склад покриттів отриманих послідовним хромованадіюванням в одному технологічному циклі*

Матеріал	Фазовий склад	Період кристалічної ґратки, нм
Сталь 45	VC	a=0,4152
	Cr ₂₃ C ₆	a=1,0691
У8А	VC	a=0,4162
	Cr ₂₃ C ₆	a=1,0700

BK8	VC	a=0,4138
	Cr ₂₃ C ₆	a=1,0640
T15K6	VC	a=0,4144
	Cr ₂₃ C ₆	a=1,0645

*- час насичення 4 години, температура 1050°C

Аналіз результатів рентгеноструктурних досліджень показав що, кількість вуглецю основи впливає на період кристалічної ґратки покриттів на основі карбіду хрому і карбіду ванадію, що в свою чергу відображається на властивостях покриття.

3.2. Хімічний склад покриттів

Експлуатаційні властивості карбідних покриттів залежать не тільки від фазового складу, а також від вмісту в них вуглецю і легуючих елементів. Дані про розподіл елементів по товщині покриття дозволяють судити про процеси дифузії елементів в покритті, та мають певний науковий інтерес.

Хромованадіювання сталі У8А призводить до утворення пошарової структури з чітко вираженими зонами (рис.3.3)

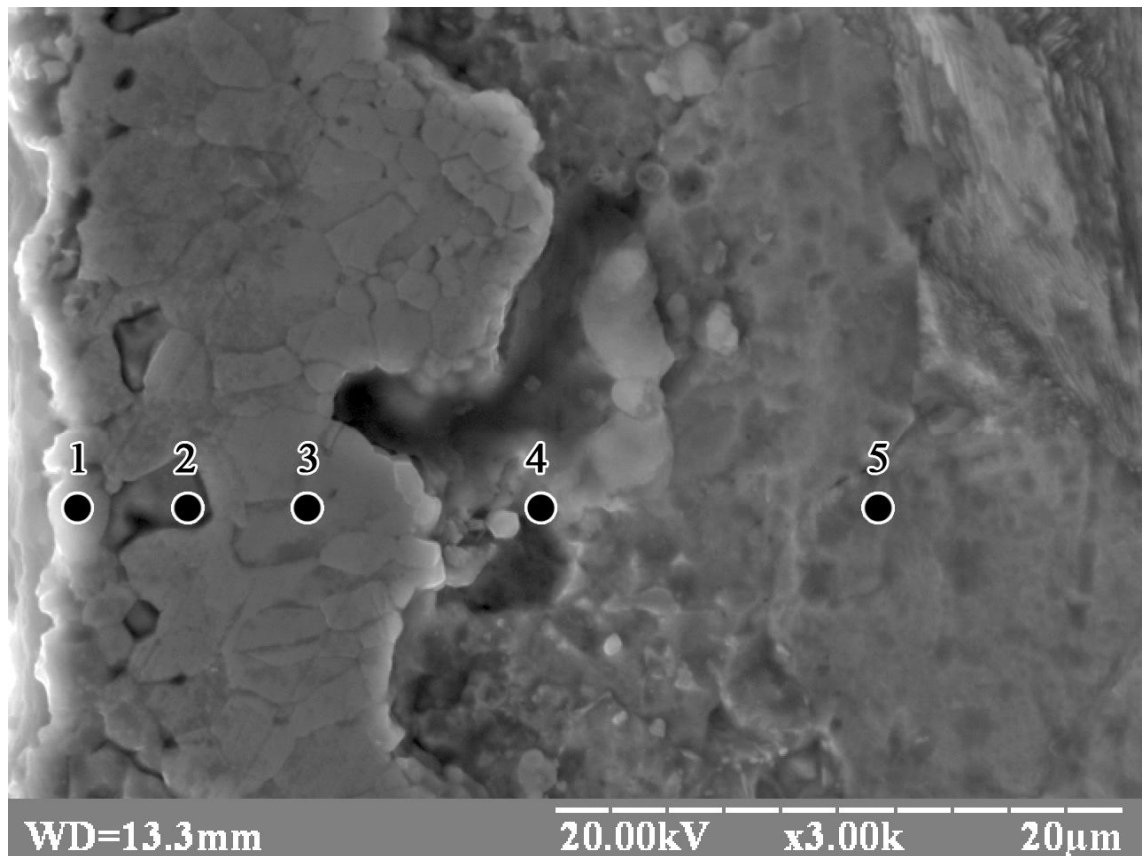


Рис. 3.3. Мікроструктура хромованадієвого покриття на сталі У8А
(у відбитих електронах); $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3\text{ год}$.

Верхній шар (спектр 1) містить ванадій і вуглець, що відповідає карбїду ванадію VC в якому розчинено залізо до $0,5\%$ (мас.). Безпосередньо під ним розташований шар карбїду хрому Cr_{23}C_6 , причому в верхній його частині спостерігаються своєрідні вкраплення (спектр 2) очевидно складного інтерметалїду з наступним хїмічним складом: $\text{Cr}-68,5\%$ (мас.) , $\text{Fe}-14,1\%$ (мас.) , $\text{V}-17,4\%$ (мас.).

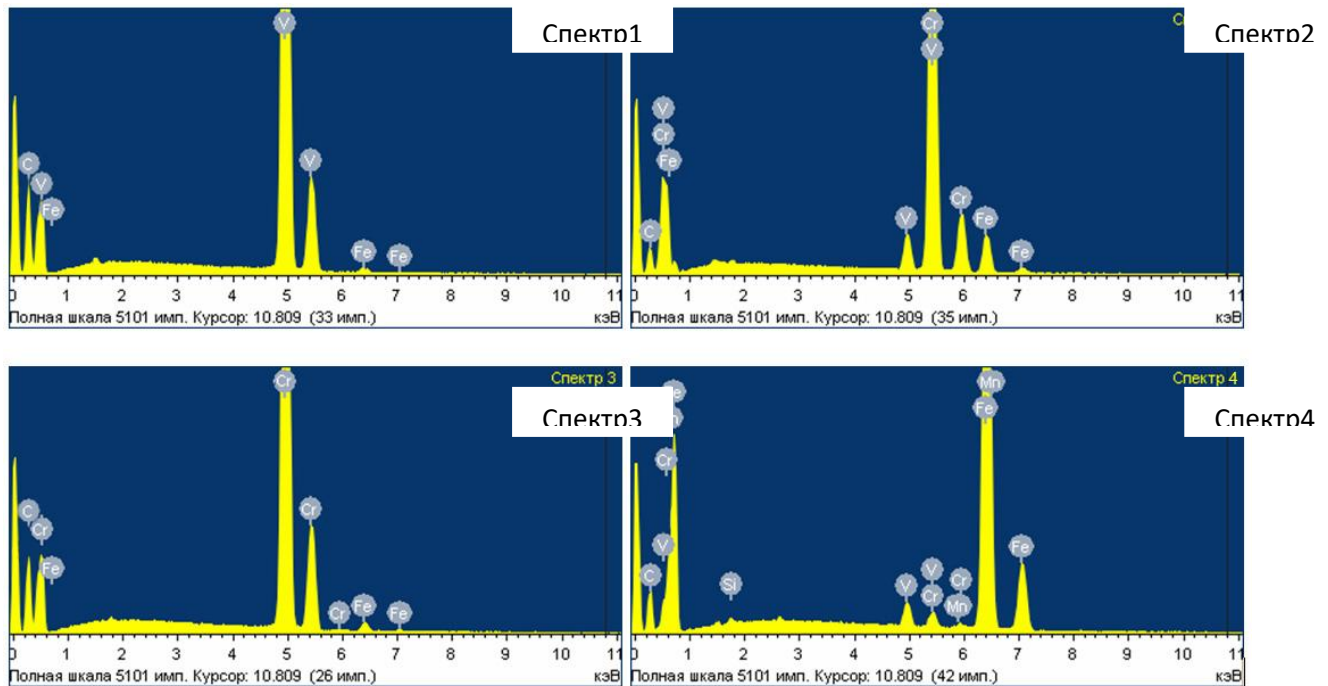


Рис. 3.4. Спектральні криві поверхневого шару сталі У8А після хромованадіювання; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3$ год.

В карбіді хрому (спектр 3) міститься 9,9%(мас.) заліза. До того ж спостерігається не значна присутність хрому та ванадію в основі (спектр 4) $\text{Cr}-2,6\%$ (мас.), $\text{V}-1,3\%$ (мас.).

Подібний розподіл елементів спостерігається і при хромованадіюванні сталі 45. На поверхні утворюється тонкий шар карбиду ванадію під яким розташована досить широка зона карбиду хрому Cr_{23}C_6 . Як і в попередньому випадку, біля поверхні виявляється присутність своєрідних краплень (рис.3.24). В карбіді ванадію розчинено близько 0,4%(мас.) хрому. Склад інтерметаліду відповідає 57,5%(мас.) Cr , 16,1%(мас.) Fe , 26,3%(мас.) V . Легування карбиду Cr_{23}C_6 залізом відбувається в кількості 22,3%(мас.), про що свідчать дані мікрорентгеноспектрального аналізу. В основу дифундує незначна кількість хрому, в перехідній зоні на відстані 2-3 мкм від шару Cr_{23}C_6 (спектр 4) його концентрація становить 2,2%(мас.).

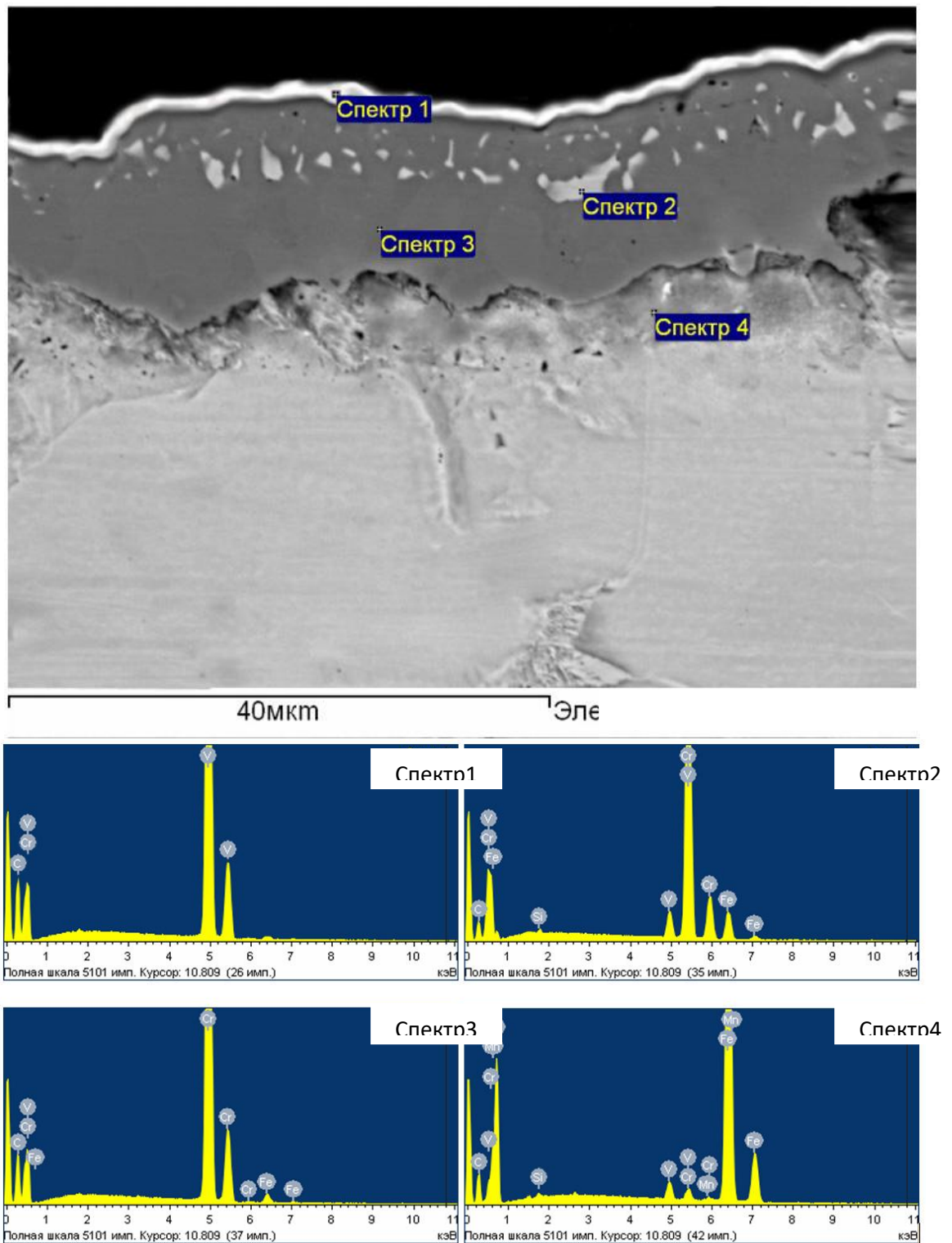


Рис. 3.5. Мікроструктура (у відбитих електронах) та спектральні криві поверхневого шару сталі 45 після хромованадіювання; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3\text{ год}$.

Розташування шарів чітко виявляється при аналізі карти розподілу елементів. На поверхні розташована зона збагачена вуглецем і ванадієм. Під

нею зона з дещо меншою концентрацією вуглецю та присутністю значної кількості хрому.

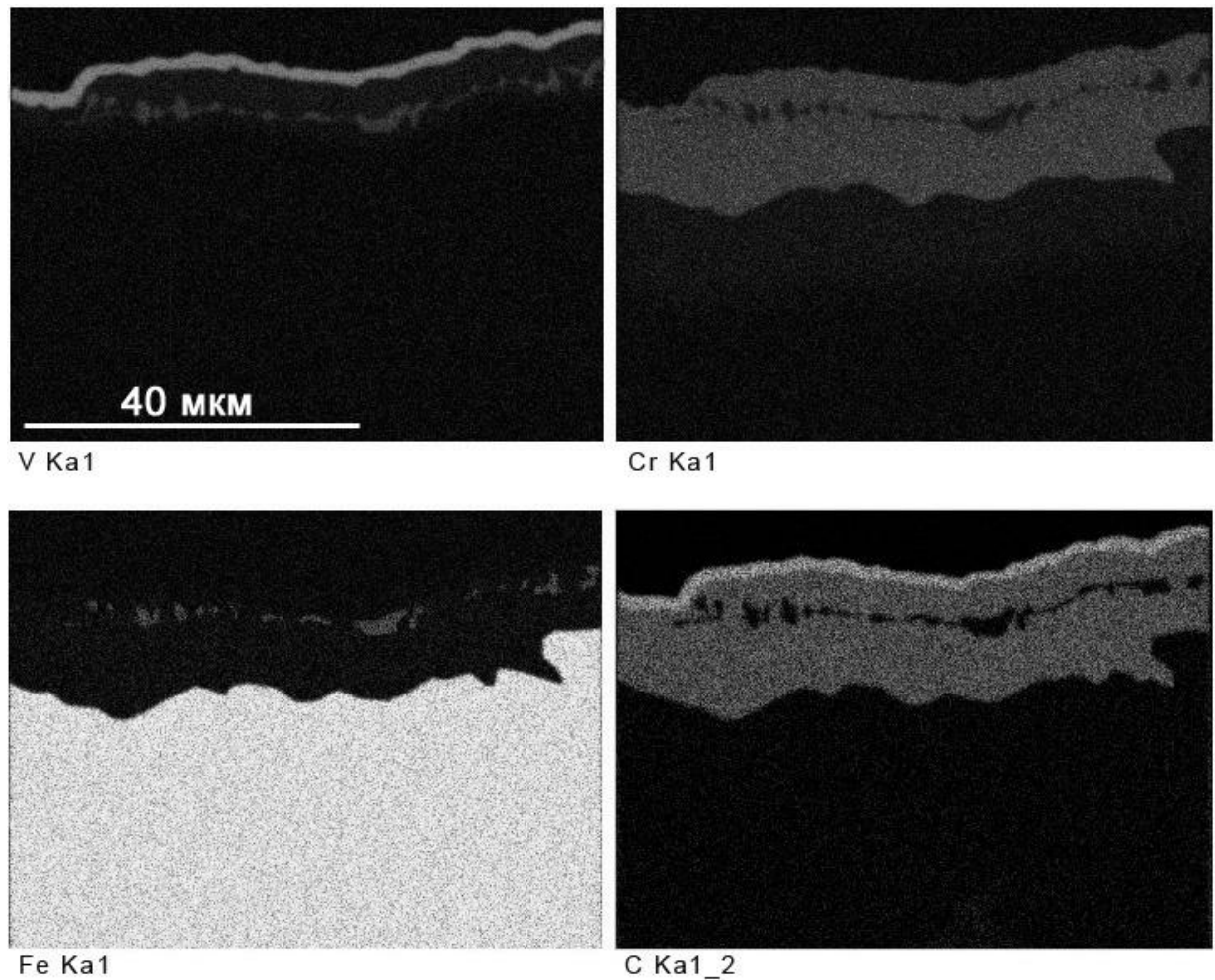


Рис. 3.6. Розподіл елементів по площині шліфа сталі У8А після хромованадіювання

(в характеричному рентгенівському випромінюванні); $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3$ год.

В зоні інтерметаліду виявляється присутність ванадію, хрому та заліза. Вуглецю в цих точках практично не виявлено.

3.3. Мікроструктура покриттів

Дифузійне насичення ванадієм призводить до формування карбідного шару

VC (Рис. 3.7), який на мікрошліфі спостерігається в вигляді світлої смуги.

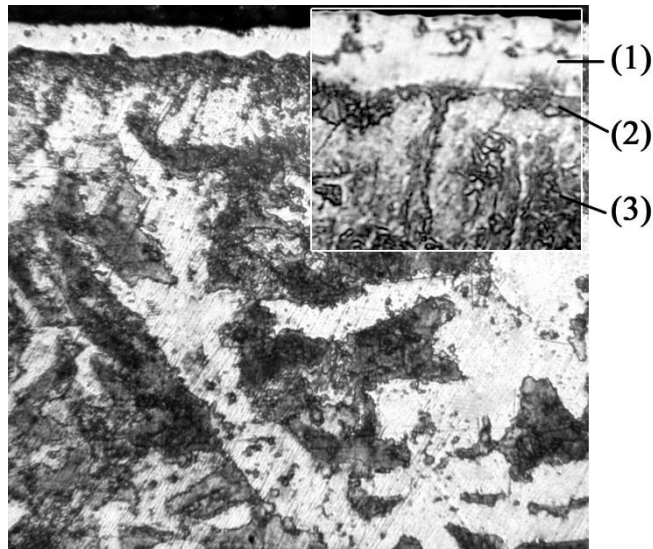


Рис. 3.7. Мікроструктура сталі 45 після ванадіювання;

$T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2\text{год.}$; $\times 250$.

Сформований карбідний шар має зеренну рівновісну структуру по всій товщині. Причому біля основи розмір зерен складає 3-4 мкм, а ближче до поверхні зменшується до 2-1 мкм (Рис. 3.38).

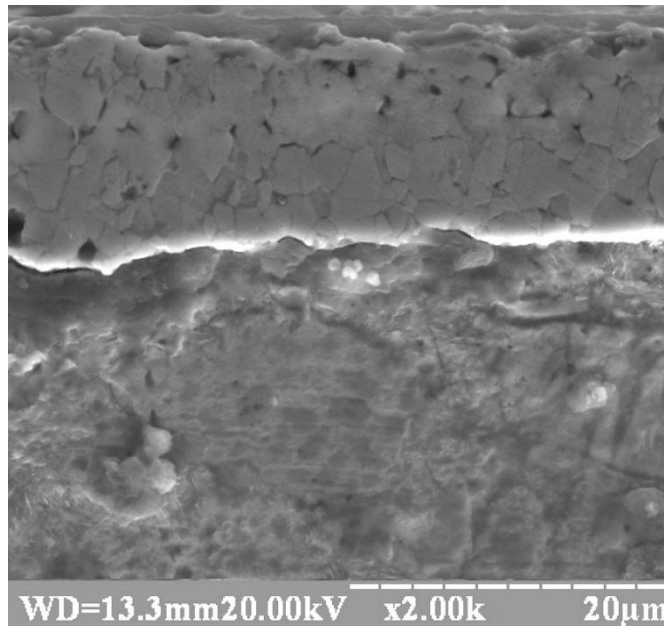


Рис. 3.8. Мікроструктура сталі У8А після ванадіювання;

$T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2\text{год.}$; $\times 2000$.

Товщина шару карбіду ванадію за рівних температурно часових умов коливається в залежності від вмісту вуглецю в матеріалі основи, та складає 3-5 мкм на сталі 20 і 11-13 мкм на сталі У8А.

Висновок

Сучасна технологія нанесення зносостійких покриттів ванадієвих дозволила отримати покриття високої якості.

Візуально всі покриття виглядають як тонкі світлі смужки, що безпосередньо прилягають до основи.

Товщина покриття залежить від часу насичення та кількості вуглецю у матеріалі. Для сталі із високим вмістом вуглецю товщина покриття збільшується на 5-10%.

Оптимальним для отримання якісного покриття завтовшки від 8 до 12 мікрон вважається час насичення від 2 до 3 годин. Навіть триваліший час

насичення не призводить до значного збільшення товщини, а швидше призводить до невиправданої витрати енергії.

Результати вимірювань мікротвердості свідчать про стабільність отриманих параметрів для даного матеріалу, при цьому проведених експериментах H_{50} варіюється в діапазоні від 1500 до 1650 МПа.

РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Теоретична частина

Виготовлення продукції (виконання робіт, надання послуг) здійснюється в процесі взаємодії роботи людини і певних засобів виробництва. Останні за своїм матеріально-речовим складом складають виробничі фонди підприємства, всю сукупність яких розділяють на основних і оборотних (рис. 4.1). Проте засоби виробництва, як сукупність засобів і предметів роботи, не можна ототожнювати з виробничими фондами, які обумовлені двома обставинами. По-перше, елементи засобів виробництва стають виробничими фондами лише з моменту їх безпосереднього використання у виробничому процесі [22].

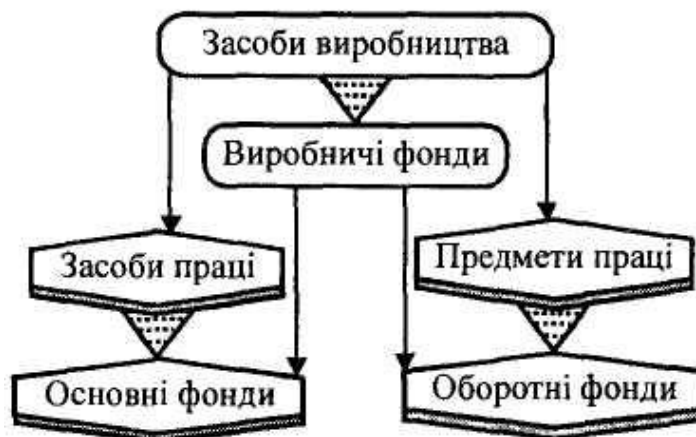


Рисунок 4.1 - Склад і взаємозв'язок засобів виробництва і виробничих фондів

По-друге, виробничі фонди на відміну від засобів виробництва є виключно вартісною економічною категорією. Це означає, що до виробничих фондів відносять не всі елементи засобів виробництва взагалі, а ті з них, які мають вартість.

Складовим частинам виробничих фондів властивий певні характерні ознаки, за якими можна розрізняти основні і оборотні фонди і обґрунтовано

тлумачити суть і значення цих економічних категорій для відтворених процесів.

Основні фонди — це засоби праці, які мають вартість і функціонують у виробництві в своїй незмінній споживчій формі, а їх вартість переноситься конкретною роботою на вартість продукції яка виробляється, (на платні послуги) частями у міру спрацьовування.

Оборотні фонди — частина виробничих фондів у вигляді певної сукупності предметів праці, елементи яких цілком споживаються в кожному виробничому циклі, змінюють або повністю втрачають натуральну форму і переносять всю свою вартість на вартість продукції, яка виробляється (на вартість платних послуг).

Основні фонди визначають характер матеріально-технічної бази виробничої сфери на різних етапах її розвитку. Розвиток і удосконалення засобів праці забезпечують безперервне підвищення технічної оснащеності і продуктивності праці виробничого персоналу. Знаряддя праці, які є найбільш активною частиною основних фондів, складають матеріальну основу виробничої потужності підприємства.

Елементи оборотних фондів формують матеріальну субстанцію продукції, яка виготовляється (сировина, конструкційні матеріали), створюють матеріальні умови для здійснення технологічних процесів і роботи виробничого устаткування (паливо, енергія), збереження і транспортування сировини і готових виробів (різні допоміжні матеріали — мастила, фарби і т.п.; тара).

У практиці господарювання з метою спрощення обліку основних фондів до оборотних фондів відносять інструменти і інвентар з терміном експлуатації до одного року і вартістю до 100 одиниць національних грошей, а також всіх спеціальних інструментів і пристроїв, спеціального одягу і взуття незалежно від терміну використання і вартості.

Зображена на рисунку 4.2 видова класифікація основних фондів використовується системами бухгалтерського обліку і статистики, що діють.

Для встановлення норм амортизаційних відрахувань і розрахунків щорічних амортизаційних сум застосовують укрупнену класифікацію, виділяючи три групи основних фондів:

перша — будівлі, споруди, їх структурні компоненти і передавальні пристрої;

друга — автомобільний транспорт, меблі, побутові електронні, оптичні, електромеханічні прилади і інструменти, включаючи ЕОМ, інші машини для автоматичної обробки інформації, телефони, інше офісне оснащення;

третя — основні фонди, не включені до першої і другої груп.



Рисунок 4.2 - Видова класифікація основних фондів

Оскільки елементи основних фондів грають неоднакову роль в процесі виробництва, неабияке значення має ділення їх на дві частини: активну, яке безпосередньо бере участь у виробничому процесі і завдяки цьому забезпечує належний об'єм і якість продукції, і пасивну, що створює умови для здійснення процесу виробництва. До активної частини основних фондів відносять переважно робочі машини і устаткування, інструмент, вимірювальні і регулюючі прилади і пристрої, використовувану в автоматизованих системах управління технологічними процесами

обчислювальну техніку, деякі технічні споруди — гірські шахти, газові і нафтові бурові свердловини.

4.2 Розрахункова частина

Для визначення технологічної собівартості проводиться розрахунок окремих елементів витрат.

Вартість матеріалу зразка визначаємо за формулою 4.1:

$$C_m = (Q \cdot C_m) \cdot a, \quad (\text{грн.}) \quad (4.1)$$

де, Q – норма витрати матеріалу (маса заготовки), кг;

$Q_{\text{зразка}}$ – 0,2 кг.

C_m – ціна матеріалу заготовки в грн.; для сталі 40Х – 80 грн./кг.

a – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку (умовно приймаємо 1,6).

Для досліджуваних покриттів вартість матеріалу прокату буде однаковою:

$$C_m = (0.2 \cdot 80) \cdot 1.6 = 25.6 \text{ (грн.)}$$

Основна і додаткова зарплата виробничого робітника з відрахуваннями на соціальне страхування та до інших фондів (за виконувану операцію) розраховуємо за формулою 4.2:

$$Z_p = C_q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60} \cdot K_{mn} \cdot n, \quad (\text{грн.}) \quad (4.2)$$

де, C_q – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн. (приймаємо III розряд: ставка 16 грн./год.);

K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо $K_1 = 1,7$);

K_2 – коефіцієнт, що враховує багатостаттєве обслуговування (приймаємо $K_2 = 1,4$);

$t_{ум.}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

$K_{ми}$ – коефіцієнт, що враховує обслуговування кількома одиницями обладнання; приймаємо $K_{ми} = 1$;

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Нітроцементация зразків дифузійним методом:

$$Зр = 16 \cdot 1.7 \cdot 1.4 \cdot (360/60) \cdot 1 \cdot 1 = 228 \text{ (грн.)}$$

Із розрахунку 50 садок на рік 11 400 грн.

Хромування зразків дифузійним методом:

$$Зр = 16 \cdot 1.7 \cdot 1.4 \cdot (180/60) \cdot 1 \cdot 1 = 114 \text{ (грн.)}$$

Із розрахунку 50 садок на рік 5 700 грн.

Амортизаційні відрахування по обладнанню, віднесені на даний метод розраховуємо за формулою 4.3:

(4.3)

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{год} \cdot 100}$$

де, S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.; Піч для нітроцементации та приспособи ~ 100 000 грн.; Піч для хромування та приспособи ~ 130 000 грн.

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування; приймаємо $K = 1,15$;

a – норма амортизаційних відрахувань (5% від вартості обладнання);

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, 1 шт.;

$N_{год}$ – річна програма експериментальних зразків, шт. (приймаємо 1000 шт.)

Нітроцементация зразків дифузійним методом:

$$A_0 = (100\,000 \cdot 1.15 \cdot 5000 \cdot 1) / (1000 \cdot 100) = 6\,000 \text{ (грн.)}$$

Хромування зразків дифузійним методом:

$$A_0 = (130\,000 \cdot 1.15 \cdot 6500 \cdot 1) / (1000 \cdot 100) = 9\,700 \text{ (грн.)}$$

Витрати на ремонт обладнання приймаємо укрупнено пропорційно величині амортизаційних відрахувань і розраховуємо за формулою 4.4:

$$V_p = A_0 \cdot K, \text{ (грн)} \quad (4.4)$$

де, K – коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань (приймаємо 15%)

Нітроцементация зразків дифузійним методом:

$$V_p = 6\,000 \cdot 1.5 = 9\,000 \text{ (грн.)}$$

Хромування зразків дифузійним методом:

$$V_p = 9\,700 \cdot 1.5 = 14\,550 \text{ (грн.)}$$

Витрати на силову електроенергію для даних методів розраховуємо за формулою 4.5:

$$V_E = [K_t \cdot N_y \cdot (t_{шт} - t_{маш}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{маш}] \cdot \frac{S_E}{60}, \text{ (грн)} \quad (4.5)$$

де, N_y – сумарна встановлена потужність одиниці обладнання, кВт;

K_1 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при ненапруженій роботі обладнання (приймаємо $K_1 = 0,4$);

K_2 – коефіцієнт використання встановленої потужності устаткування в процесі термообробки (приймаємо $K_2 = 0,8$);

$t_{шт.}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

$t_{маш.}$ – машинний час на операцію, хв. (приймаємо 0,15 хв.);

S_E – вартість одного кВт/год. електроенергії, грн. (приймаємо $S_E = 2$ грн.).

Нітроцементация зразків дифузійним методом:

$$V_E = [0.4 \cdot 40 \cdot (360 - 0.15) + 0.8 \cdot 40 \cdot 0.15] \cdot (2/60) = 190 \text{ (грн.)}$$

Хромування зразків дифузійним методом:

$$V_E = [0.4 \cdot 40 \cdot (180 - 0.15) + 0.8 \cdot 40 \cdot 0.15] \cdot (2/60) = 95 \text{ (грн.)}$$

Витрати на допоміжні матеріали для кожного методу розраховуємо за формулою 4.6:

$$B_M = \frac{M \cdot n}{N_{\text{річ}}}, \quad (\text{грн}) \quad (4.6)$$

де, M – річні витрати на допоміжні матеріали, на одиницю устаткування;

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

$N_{\text{річ}}$ – річна програма деталей, шт.

Для дифузійної нітроцементації в шахтній печі СШЦМ 6,6/10 потрібен триетаноламін. Триетаноламін поставляється в бочках місткістю 200 л вартістю 70 грн./ кг., тому коефіцієнт приймаємо $M = 14\ 000$ грн.

$$B_M = 14\ 000/1000 = 14 \text{ (грн.)}$$

Для дифузійної металізації в шахтній печі СШО 6,6/12 використовуємо такі елементи: порошок технічно чистого хрому Cr_2O_3 у мішку 50 кг ($M_1=7500$ грн.), чотирьох хлористий вуглець CCl_4 ($M_2=1000$ грн.) та деревне вугілля ($M_3=500$ грн.). Тому коефіцієнт приймаємо $M = 9\ 000$ грн.

$$B_M = 9\ 000/1000 = 9 \text{ (грн.)}$$

Витрати на утримання виробничої площі розраховуємо за формулою 4.7:

$$P_{\text{утр}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{\text{річ}}}, \quad (\text{грн}) \quad (4.7)$$

де, $S_{\text{пл}}$ – площа, безпосередньо, яку займає одиниця обладнання, м^2 ;

K – коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

P – річна норма витрат за утримання одного метра квадратного виробничої площі, грн. (приймаємо 300 грн.);

$N_{\text{річ}}$ – річна програма зразків, шт.

У обох випадках витрати на утримання становитимуть:

$$(5 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 300) / 1000 = 4.5 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.1

Технологічна собівартість нанесення покриттів дифузійним методом на партію зразків, грн.

Найменування елементів витрат	Дифузійні покриття	
	Нітроцементация	Ванадіювання
Основна і додаткова заробітна плата робітника за рік (Зр)	11 400	5 700
Амортизаційні відрахування по обладнанню (А ₀)	6 000	9 700
Витрати на ремонт обладнання (Вр)	9 000	14 550
Витрати на силову електроенергію (В _Е)	190	95
Витрати на допоміжні матеріали (Вм)	14	9
Витрати на утримання виробничої площі (Р _{утр})	4,5	4,5
Загальна сума	26 608	30 058

Висновок

За отриманими розрахунками щодо нанесення ванадієвих покриттів на дослідних зразках можна побачити, що ванадієві покриття є у 1.1 рази дорожчими ніж нітроцементовані. Але зносостійкість, а відповідно і термін служби деталей із ванадієвими покриттями у 2-3 рази перевищує нітроцементовані.

У даному випадку підвищення собівартості є обґрунтованим, оскільки збільшення витрат спостерігається на початковому етапі підготовки технологічного процесу. Як видно із розрахунків – затрати на заробітну плату, електроенергію та ін. є нижчими ніж у базовому варіанті.

Відповідно при збільшенні кількості зразків для експерименту, або якщо враховувати аналогічні експерименти за 3-5 років то економічні статті витрат при ванадієвих переважають витрати підготовки виробництва, що приведе до переваги економічної ефективності ванадію над нітроцементациєю.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ОТРИМАННІ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ

5.1. Характеристики процесів отримання ванадієвих покриттів

Серед процесів ХТО особливе місце посідає ванадієвих металів і сплавів із додаванням інших легуючих елементів (титаном, бором, кремнієм, алюмінієм), що дозволяє змінити структуру і фазовий склад хромованих шарів і, як наслідок, досягти більш високої твердості й зносостійкості поверхні, порівняно з іншими видами поверхневої обробки. Отримані таким чином багатоконпонентні ванадієві покриття володіють цілим комплексом фізико – хімічних і механічних властивостей, що обумовлюють високу зносостійкість, жаростійкість і корозійну стійкість виробів, підданих хіміко – термічній обробці [15–18].

Для підвищення зносостійкості, жаростійкості й корозійної стійкості металів та сплавів застосовують легування хрому, ніобію, молібдену домішками кремнію.

У результаті ванадієвого насичення змінюється структура поверхневих шарів на сталі та формується, підшарок, збагачений легуючими елементами, який має високий комплекс експлуатаційних властивостей [23–26].

Силіцидні покриття за участю молібдену володіють високою мікротвердістю – 15,0–17,0 ГПа, але вони крихкі і не знайшли широкого застосування [27]. Захисні покриття за участю алюмінію та кремнію підвищують корозійну та жаростійкість, але не володіють високою мікротвердістю та зносостійкістю [28]. Поєднати важливі фізико-хімічні властивості такі як корозійна стійкість, жаростійкість, зносостійкість

можливо за рахунок нанесення захисних дифузійних покриттів за участю хрому та кремнію [23; 24; 25; 29; 30]. Хромосиліціювання – відомий спосіб хіміко – термічної обробки, який незважаючи на перспективність його використання не набув до цього часу широкого застосування в промисловості. Це пов'язано з недостатністю простих способів нанесення дифузійних покриттів, відсутністю цілеспрямованих досліджень їх складу, структури та захисних властивостей.

5.2. Основні питання з охорони праці і техніки безпеки

У даній роботі виконані дослідження , що проводилися в умовах лабораторії (кафедри, відділу)», а далі: «Тому в даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори цеху, що проектується (відділенні, ділянці, лабораторії, офісі, конкретному робочому місці), або при виконанні досліджень, розроблені заходи щодо їх зниження (або заходи щодо забезпечення сприятливих умов праці). Виконані розрахунки, узагальнені питання пожежної профілактики, розглянуті питання впливу проектних рішень на навколишнє середовище та методи його захисту (або питання щодо впливу проектних рішень на навколишнє середовище розглянуті в підрозділі основної частини пояснювальної записки)».

Обсяг вступної частини 0,4 сторінки; вона йде безпосередньо після назви розділу без назви і нумерації; у змісті її наявність як окремого підрозділу не відображується.[33]

Основну частину розділу «Охорона праці та захист навколишнього середовища» для бакалаврів складають наступні підрозділи.

Загальна характеристика умов праці (1-2 с.).

Техніка безпеки та пожежна профілактика (2-3 с.).

Захист навколишнього середовища (1-2 с.).

Основну частину розділу «Охорона праці та захист навколишнього середовища» для магістрів складають підрозділи.

Аналіз умов праці та пожежної безпеки (2-3 с.).

Заходи поліпшення умов праці (3-4 с.).

Захист навколишнього середовища (2-3 с.).[2]

5.2.1 Загальна характеристика умов праці

Студент аналізує умови праці на конкретному об'єкті з точки зору виявлення можливих (потенційних) небезпечних і шкідливих виробничих чинників (фізичних, хімічних, біологічних, психофізіологічних і ін.), що створюються технічними засобами, технологічними процесами, невірною організацією праці у виробничих приміщеннях та на робочих місцях.

Необхідно вказати найменування підприємства, цеху, дільниці, приміщення, для якого виконується аналіз. Вказати, в якому будинку і на якому поверсі воно знаходиться, скільки робочих місць, яке є обладнання. Виходячи з норм для виробничих приміщень або на окремі робочі місця та наявності основного й допоміжного обладнання, необхідно оцінити площу та обсяг виробничого приміщення згідно з ДБН В.2.2-28:2010, для приміщень з комп'ютерною технікою у відповідності до ДСанПіН 3.3.2.007-98. Виходячи з норм ДСП 173-96, оцінити клас небезпеки виробництва та визначити розмір санітарно-захисної зони.[34]

Також необхідно вказати системи опалювання та кондиціонування відповідно до ДБН В.2.5-67:2013, вказати яке оформлення інтер'єру приміщення; забарвлення стін, стелі, підлоги, обладнання. Стіни, стелі і внутрішні конструкції приміщень мають бути забарвлені згідно з СН 181-70.

Розгляд потенційно небезпечних та шкідливих виробничих чинників починають за ГОСТ 12.0.003-74, де визначаються основні шкідливі та небезпечні фактори. Далі проводиться аналіз санітарно-гігієнічних умов у виробничому приміщенні та на робочих місцях: мікроклімату, загазованості, запиленості, освітленості робочих поверхонь, шумів, випромінювань і ін. При цьому встановлюють за фактичними або літературними даними можливі джерела небезпечних та шкідливих виробничих чинників, їх характеристику.[33]

Розпочинають розгляд з визначення у відповідності до ДСН 3.3.6.042-99 категорії важкості робіт у приміщенні за енерговитратами та метеорологічні умови праці. На основі визначеної категорії важкості робіт та типу приміщення (виробниче або допоміжне, суспільне) обирають оптимальні або припустимі параметри метеорологічних умов – температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря встановлюють для теплої та холодної пори року за ДСН 3.3.6.042-99. Відповідно того ж документа також визначають нормативну інтенсивність теплового опромінювання в приміщенні та вказують його джерела.

При наявності місць можливого виділення до приміщення шкідливих речовин (процеси, обладнання) обов'язково вказують джерела викиду, види шкідливих речовин (гази, пари, пил), їх дію на організм, гранично допустиму концентрацію (ГДК), клас безпеки та можливий негативний вплив для кожної з них згідно з ГОСТ 12.1.005-88. [35]

При проведенні аналізу виявляють джерела генерації механічного, аеродинамічного, гідродинамічного, електромагнітного шуму у приміщенні, ультразвуку, інфразвуку, виникнення вібрації; вплив шуму, ультра- та інфразвуку, загальної та локальної вібрації на здоров'я та працездатність людини; гранично допустимий рівень (ГДР) шуму, ультразвуку за ДСН-3.3.6.037-99.

На підставі ДСН-3.3.6.039-99 визначають види вібрації, джерела вібрації в приміщенні або ззовні та вид цієї вібрації, її нормативні параметри та негативний вплив на людину.

При проведенні аналізу умов праці виявляють наявність електромагнітних полів промислової частоти та електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону; вплив їх на людину; ГДР напруженості ЕМП частотою 50 Гц та гранично допустимі значення енергетичної експозиції для персоналу за електричною та магнітною складовою, за густиною потоку енергії згідно з НПАОП 0.00-1.31-99 та ДСанПіН 3.3.2.007-98.

При наявності обладнання із застосуванням ультрафіолетового та лазерного випромінювання у приміщенні визначають їх дію на людину; допустимі норми згідно з нормативним документом ДНАОП 0.03-3.17-88, енергетичну експозицію та лазерне випромінювання (ЛВ) згідно з ДНАОП 0.03-3.09-91.[34]

При використанні обладнання з можливістю іонізуючих випромінювань у технологічному процесі, при виконанні досліджень або у приладах контролю визначають їх біологічну дію, граничні еквівалентні дози згідно з «Нормами радіаційної безпеки України» (НРБУ-97).

В приміщенні визначають систему освітлення у світлий і темний період доби; характеристику зорової роботи; нормативні значення коефіцієнту природного освітлення (КПО) та освітленості на робочих поверхнях при штучному освітленні згідно з ДБН В.2.5-28-2006, нормовану освітленість для аварійного, евакуаційного та охоронного освітлення та їх фактичні значення.[36]

Потім необхідно розглянути потенційно небезпечні чинники, що властиві даним умовам праці:

незахищені частини машин і механізмів, що обертаються та рухаються; передаточні і транспортні пристрої; вантажопідйомні машини і пристрої; посудини і устаткування, що працюють під тиском; робота на висоті; завантажувально-розвантажувальні роботи; гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок, інструментів та обладнання; потенційна небезпека отримання механічних травм, їх види;

розжарений і розплавлений метал, гарячі матеріали та поверхні обладнання, установок, відкрите полум'я, іскри; потенційна небезпека отримання термічних травм, їх види;

хімічні реактиви та матеріали, що використовуються у технологічному процесі або у лабораторних дослідженнях; імовірність отримання хімічних опіків, гострих отруєнь від їх дії;

з'ясувати наявність у приміщенні інших небезпечних виробничих чинників.

Слід також проаналізувати можливість фізичних та нервово-психічних перевантажень (розумове та емоційне перевантаження; перевантаження аналізаторів; монотонність праці) при виконанні робіт. Для цього треба охарактеризувати умови праці за показниками напруженості трудового процесу:

інтелектуальні навантаження (зміст роботи; сприймання інформації та її оцінка; ступінь складності завдання; характер виконуваної роботи);

сенсорні навантаження (тривалість зосередженого спостереження, щільність сигналів та повідомлень, кількість об'єктів одночасного спостереження, розмір об'єкта розрізнення, робота з оптичними приладами, спостереження за екранами відео терміналів, навантаження на зоровий та слуховий аналізатор; монотонність навантажень, режим праці.[23]

5.2.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика

Спочатку треба вказати види інструктажів, що проводяться; коли і хто повинен їх проводити; основні питання інструктажів, де фіксувати факт інструктажу.

Необхідно описати згідно з «Правилами устрою електроустановок» (ПУЕ) – види електричного струму та напругу мережі, частоту для основних електроспоживачів, класифікацію електрообладнання за напругою; категорію приміщення за небезпекою ураження електричним струмом згідно з ПУЕ та НПАОП 40.1-1.32-01, умовно безпечна напруга для цієї категорії; можливі причини та види електротравм; ГДР напруги дотику та струму, опір заземлювачів та інше за ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.030-81.

Вказати основні вимоги техніки безпеки на ділянці, що аналізується з урахуванням обладнання та технології виробництва; при роботі з хімічними речовинами – правила безпечного користування та зберігання хімічних речовин.

На завершальному етапі необхідно визначити категорію пожежовибухонебезпеки виробництва за НАПБ Б.03.002-2007 і ступінь вогнестійкості будівлі за ДБН В.1.1-7-2002, клас пожежонебезпеки приміщення за ПУЕ. Вказати, чи відповідає ступінь вогнестійкості будинку, де розташовується приміщення, пожежовибухонебезпеці виробництва; скласти перелік пожежонебезпечних речовин і дати оцінку їх пожежної небезпеки, виявити можливі причини і місця виникнення вибухів або пожеж.[36]

Необхідно навести первинні засоби ліквідації пожеж: стаціонарні установки (спринклерні, дренчерні, піногенераторні), ручні вогнегасники (порошкові, вуглекислотні) за НАПБ Б.03.001-2004.

Приблизний текст про пожежну безпеку в приміщенні:

Виробничий процес в цеху (на ділянці, у відділенні) за вибуховою, вибухопожежною і пожежною небезпекою згідно з НАПБ Б.03.002-2007 відноситься до категорії «Г», тому що обробці піддаються негорючі матеріали в розпеченому стані .

Робочий майданчик нагрівальної печі відповідно до ПУЕ та НПАОП 40.1-1.32-01 за пожежною небезпекою відноситься до категорії, за вибуховою небезпекою.

Будівлю цеху побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла і ін.) і, згідно ДБН В.1.1-7-2002, вона має II ступінь вогнестійкості [24].

Пожежі на ділянці можуть виникнути в результаті:

загоряння електрообладнання при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях (клас пожежі – Е);

загоряння паливно-мастильних матеріалів при попаданні в них іскор електричного або механічного походження, впливу тепла від нагрітих предметів, під впливом відкритого вогню (клас пожежі – В);

на нагрівальній ділянці можливе займання і вибух горючих газоповітряних сумішей (клас пожежі – С);

самозаймання промасленого ганчір'я (клас пожежі – А);

дії статичного чи грозового розряду (тобто наводяться конкретні для даної ділянки можливі причини пожежі).

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід, об'єднаний з виробничим. На його мережі у приміщенні цеху (дільниці)

встановлені пожежні крани з брезентовими рукавами і відводами. Зовні будівлі по її периметру в підземних колодязях розміщені пожежні гідранти. Для доступу на дах будівлі використовуються пожежні сходи, укріплені на стінах. Для гасіння можливих пожеж в цеху (відділі, ділянці, лабораторії) передбачені первинні засоби пожежогасіння, які визначаються на підставі НАПБ А.01.001-2004 та НАПБ Б.03.001-2004 [26].

5.2.3 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Аналіз умов праці необхідно проводити з точки зору виявлення можливих (потенційних) небезпечних і шкідливих виробничих чинників, створюваних технічними засобами, технологічними процесами, невірною організацією праці у виробничих приміщеннях та на робочих місцях.

Аналіз умов праці починається з опису виробничого приміщення. Для студентів, які виконують дипломний проект, необхідно вказати найменування підприємства, цеху, дільниці, приміщення, для якого виконується аналіз. Вказати, в якому будинку і на якому поверсі воно знаходиться, скільки робочих місць, яке є обладнання. Виходячи з норм для виробничих приміщень або на окремі робочі місця та наявності основного й допоміжного обладнання, необхідно оцінити площу та об'єм виробничого приміщення. Виходячи з норм ДСП 173-96, оцінити клас безпеки виробництва та визначити розмір санітарно-захисної зони.

Для студентів, які виконують дипломну роботу, необхідно вказати найменування підприємства або установи, приміщення, в якому будинку і на якому поверсі воно знаходиться, скільки робочих місць, яке є обладнання. Вказати розмір приміщення, віконних та дверних прорізів, наявність та ширину евакуаційних виходів. Виходячи з норм для виробничих приміщень або на окремі робочі місця та наявності основного й допоміжного обладнання, необхідно оцінити площу та об'єм для адміністративних

приміщень згідно з ДБН В.2.2-28:2010, для приміщень з комп'ютерною технікою у відповідності до ДСанПіН 3.3.2.007-98. Також необхідно вказати системи опалювання та кондиціонування відповідно до ДБН В.2.5-67.2013, вказати, яке оформлення інтер'єру приміщення; забарвлення стін, стелі, підлоги, обладнання. Стіни, стелі і внутрішні конструкції приміщень мають бути забарвлені згідно з СН 181-70.

Розгляд потенційно небезпечних та шкідливих виробничих чинників починають з аналізу санітарно-гігієнічних умов у виробничому приміщенні та на робочих місцях: мікроклімату, загазованості, запиленості, освітленості робочих поверхонь, наявності шуму та вібрації, випромінювань і ін. При цьому обов'язково встановлюють можливі джерела небезпечних та шкідливих виробничих чинників, їх характеристику за фактичними або літературними даними. На основі проведеного аналізу умов праці визначають за ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 клас умов праці для кожного шкідливого або небезпечного фактора.

При аналізі шкідливих та небезпечних чинників встановлюють:

Оптимальні та допустимі параметри метеорологічних умов для теплої та холодної пори року в залежності від визначеної категорії важкості робіт та типу приміщення (виробниче або допоміжне, суспільне; з надлишками тепла або без), визначити допустиму інтенсивність тепла від нагрітих поверхонь за ГОСТ 12.1.005-88, ДСН 3.3.6.042-99;

наявність теплових випромінювань від розплавленого металу, нагрітих матеріалів, полум'я, гарячих поверхонь і ін., їх дію на організм та гранично допустимий рівень (ГДР) за ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.1.005-88;

місця можливого виділення до приміщення шкідливих речовин (процеси, обладнання); види шкідливих речовин (гази, пари, пил), які з них володіють ефектом сумації; дію на організм, гранично допустиму

концентрацію (ГДК) та клас небезпеки кожної з них згідно з ГОСТ 12.1.005-88 та ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002; можливу наявність алергенів (ГН 1.1.2.140-2007) або канцерогенів (ГН 1.1.2.123-2006);

джерела генерації механічного, аеродинамічного, гідродинамічного, електромагнітного шуму у приміщенні, ультразвуку, інфразвуку, виникнення вібрації; вплив шуму, ультра- та інфразвуку, загальної та локальної вібрації на здоров'я та працездатність людини; ГДР шуму, ультразвуку, інфразвуку за ДСН 3.3.6.037-99, ГОСТ 12.1.003-83;

джерела генерації вібрації та її параметри за ДСН 3.3.6.039-99, ГОСТ 12.1.012-90;

систему освітлення у приміщенні у світлий і темний періоди доби; характеристику зорової роботи у приміщенні; вплив недостатнього та неякісного освітлення на персонал; нормативні значення коефіцієнту природного освітлення (КПО) та освітленості на робочих поверхнях при штучному освітленні згідно з ДБН В.2.5-28-2006, нормовану освітленість для аварійного, евакуаційного та охоронного освітлення;

наявність електромагнітних полів (ЕМП) промислової частоти та електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону; вплив їх на людину; ГДР напруженості ЕМП частотою 50 Гц та гранично допустимі значення енергетичної експозиції для персоналу за електричною та магнітною складовою, за щільністю потоку енергії згідно з ГОСТ 12.1.002-84, ДСанПіН 3.3.6.096-2002;

застосування ультрафіолетового та лазерного випромінювання у приміщенні; їх дію на людину; допустимі норми УФ-випромінювання за ДНАОП 0.03-3.17-88, енергетичну експозицію лазерного випромінювання (ЛВ) згідно з ДНАОП 0.03-3.09-91;

використання іонізуючих випромінювань у технологічному процесі, при виконанні досліджень або у приладах контролю; їх біологічну дію; граничні еквівалентні дози згідно з «Нормами радіаційної безпеки України» (НРБУ-97);

джерела іонізації повітря у приміщенні; дію негативних та позитивних аероіонів на людину; мінімально та максимально допустимі рівні іонізації повітря за показником полярності згідно з ДНАОП 0.03-3.06-80;

можливе виділення до приміщення речовин з неприємним запахом, їх джерела та види, вплив на організм.

Потім необхідно розглянути потенційно небезпечні чинники, що властиві даним умовам праці: види електричного струму та напруга мережі, частота, основні електроспоживачі; категорія приміщення за безпекою ураження електричним струмом згідно з «Правилами устрою електроустановок» (ПУЕ), НПАОП 40.1-1.32-01, умовно безпечна напруга для цієї категорії; можливі причини та види електротравм; ГДР напруги дотику та струму згідно з ГОСТ 12.1.038-82;

незахищені частини машин і механізмів, що обертаються та рухаються; передаточні і транспортні пристрої; вантажопідйомні машини і пристрої; устаткування, що працює під тиском; робота на висоті; завантажувально-розвантажувальні роботи; гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхнях заготівель, інструментів та обладнання; потенційну небезпеку отримання механічних травм, їх види;

розжарений і розплавлений метал, гарячі матеріали та поверхні обладнання, відкрите полум'я, іскри; потенційну небезпеку отримання термічних травм;

хімічні реактиви та матеріали, що використовуються у технологічному процесі або у лабораторних дослідженнях; імовірність отримання хімічних опіків, гострих отруєнь від їх дії;

з'ясувати наявність у приміщенні інших небезпечних виробничих чинників.

Слід також проаналізувати можливість фізичних та нервово-психічних перевантажень (розумове та емоційне перевантаження; перевантаження аналізаторів; монотонність праці) при виконанні робіт.

Для цього треба охарактеризувати умови праці за показниками напруженості трудового процесу:

інтелектуальні навантаження (зміст роботи; сприймання інформації та її оцінка; ступінь складності завдання; характер виконуваної роботи);

сенсорні навантаження (тривалість зосередженого спостереження, щільність сигналів та повідомлень, кількість об'єктів одночасного спостереження, розмір об'єкта розрізнення, робота з оптичними приладами, спостереження за екранами відео терміналів, навантаження на зоровий та слуховий аналізатори);

фізичні навантаження (ступінь відповідальності за помилку, ступінь ризику для власного життя та інших осіб);

монотонність навантажень, режим праці.

Потім необхідно визначити категорію виробничого приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою згідно з НАПБ Б.03.002-2007.

У відповідності до ПУЕ визначається категорія вибухової безпеки робочих зон і майданчиків, ступінь вогнестійкості будівельних конструкцій,

параметри системи оповіщення при пожежі та шляхи евакуації персоналу та матеріальних цінностей згідно з ДБН В.1.1-7-2002.

Далі аналізується проектований об'єкт (ділянка, обладнання, робоче приміщення, лабораторія) на можливість пожежі і визначаються клас пожежі.

Приблизний текст даного підрозділу:

«Приміщення цеху (дільниці, відділення) за вибухопожежною та пожежною небезпекою, згідно з НАПБ Б.03.002-2007, належить до категорії "Г", тому що в ході виробничого процесу обробці піддаються негорючі матеріали в розпеченому стані .

Робочий майданчик нагрівальної печі відповідно до ПУЕ за пожежною небезпекою відноситься до категорії ..., за вибуховою небезпекою .

Цех побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла) і, згідно з ДБН В.1.1-7-2002, він має ступінь вогнестійкості . З метою запобігання пожежі передбачена система оповіщення типу 1 шляхом подачі звукового і світлового сигналів для всіх одночасно та передбачені евакуаційні виходи з цокольного поверху – назовні безпосередньо, через сходову клітку, що має вихід назовні безпосередньо або ізольований від розташованих вище поверхів згідно з ДБН В.1.1-7-2002 .[27]

Пожежі на ділянці можуть виникнути в результаті:

загоряння електрообладнання при перевантаженнях, перегріві і короткому замиканні (клас пожежі – Е);загоряння паливно-мастильних матеріалів при потраплянні в них іскор електричного або механічного походження, впливу тепла від нагрітих предметів, під впливом відкритого вогню (клас пожежі – В);на нагрівальному майданчику при можливому спалаху або вибуху горючих газоповітряних сумішей (клас пожежі – С);самозаймання промасленого дрانتя (клас пожежі – А);дії статичного чи

грозового розряду (тобто наводяться конкретні для даної ділянки можливі причини пожежі).[26]

5.3.Техніка безпеки при отриманні ванадієвих покриттів.

Ванадієві покриття утворюються в результаті хіміко-термічної обробки металів і сплавів. Хіміко-термічна обробка (ХТО) поєднує термічний і хімічний вплив на матеріал з метою зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів.

Ванадієві покриття на поверхні виробу можуть утворюються в результаті насичення матеріалу різними елементами: неметалами (С, N, В, Si, Р), металами (Al, Cr, Zn, W тощо.), а також спільним насиченням (С та Cr, В та Al, С та N, Cr та Al, Al та Si тощо.)

Вибір того чи іншого способу насичення здійснюється у відповідності до виду виробництва, габаритів виробів, необхідної товщини тощо.

До основних технологічних методів отримання дифузійних покриттів відносяться:

1. Насичення з порошкових сумішей (порошковий метод).

Застосовується в дрібносерійному і серійному виробництві для цементації, алітування, хромування тощо. Відрізняється простотою технологічного процесу.

2. Прямоточний і циркуляційний методи дифузійного насичення з газових середовищ.

Прямоточний метод застосовується в великосерійному і серійному виробництві для цементації, нітроцементації і азотування.

Забезпечує високу якість дифузійного покриття. Циркуляційний метод знаходить все більше застосування при насиченні металами і кремнієм.

3. Дифузійне насичення з розплавів металів або солей, що містять дифундууючий елемент. Рідкий метод дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу, проте не завжди забезпечує якість поверхні і стабільність товщини дифузійного шару.

4. Насичення з паст і суспензій (шлікерний спосіб). Ці методи не знайшли широкого поширення, так як не завжди забезпечують отримання рівномірної товщини покриття і високої якості дифузійного шару. В основному вони використовуються для місцевого зміцнення поверхні і при обробці великогабаритних деталей.

5. Дифузійне насичення з використанням вакууму. Це перспективний метод ХТО. Насичення здійснюється шляхом випаровування дифундууючого елемента при високих температурах із сублімованої фази. Вироби, що оброблюються знаходяться або в контакті з порошковою сумішшю, що містить дифундууючий елемент, або на відстані від неї.[27]

Процес утворення дифузійного покриття включає чотири основні стадії.

1. Реакції в насичувальному середовищі (утворення активних атомів в насичувальному середовищі і їх дифузія до поверхні оброблюваного металу).

2. Транспортування активних атомів до насичувальної поверхні.

3. Реакція взаємодії активних атомів з поверхнею, що протікає в дві стадії: а) адсорбція і б) хемсорбція.

4. Дифузія - переміщення адсорбованих атомів всередину металу.

Процес можливий тільки при розчинності дифундууючого елемента в оброблюваному металі і досить високою температурою, що забезпечує необхідну енергію атомам. При цьому приплив активних атомів до поверхні

насичення повинен перевищувати число атомів, що відводяться від поверхні в глиб в результаті дифузії.

Рушійною силою дифузійного процесу є перепад концентрацій або хімічних потенціалів в зростаючих фазах. У тих випадках, коли процес протікає багатостадійно, сумарна швидкість визначається найбільш повільної стадією. При ХТО в більшості випадків швидкість лімітується дифузією в оброблювальному матеріалі. Всі фактори, що прискорюють дифузію (температура, градієнт концентрацій, структурні дефекти тощо) зменшують тривалість технологічного процесу. Розвиток процесу дифузії призводить до виникнення на поверхні дифузійної зони. Концентрація дифундуючого елементу зменшується від поверхні в глибину виробу до значень вихідного вмісту в матеріалі. Дифузійна зона може відрізнятися від серцевини хімічним, фазовим складом і структурою. Найкоротша відстань від поверхні дифузійної зони до серцевини називають загальною товщиною дифузійної зони. За ефективну товщину дифузійної зони приймають відстань від поверхні до ділянки, що характеризується деяким значенням базового параметра. Під базовим параметром дифузійного шару розуміють параметр матеріалу, що слугує в даному випадку критерієм якості в залежності від відстані від поверхні насичення. В якості базового параметру приймають або концентрацію дифундуючого елементу або властивість (твердість) або структурну ознаку.

Прилегла до серцевини зона, протяжність якої дорівнює різниці загальної та ефективної товщини, називається перехідною зоною дифузійної зони.

Дифузійна зона може складатися з одного або декількох дифузійних шарів.

Під дифузійним шаром розуміють область дифузійної зони, яка відрізняється від суміжних областей фазовим складом і структурою. Дифузійний шар характеризується своєю протяжністю і властивостями (твердістю, крихкістю тощо)[28]

5.4. Охорона довкілля при отриманні ванадієвих покриттів

Чорні метали – вуглецева сталь, чавуни – найбільш інтенсивно піддаються корозії, тоді як багато кольорових металів, леговані та іржостійкі сталі, досить стійкі в атмосферних умовах і агресивних середовищах.

Зростаючі вимоги до рівня довговічності та корозійної стійкості машин і будівельних конструкцій приводять до появи більш досконалих методів і технологій захисту поверхні від руйнівного впливу навколишнього середовища та агресивних експлуатаційних умов. Практично всі машини, механізми, будівельні конструкції мають в своєму складі кріпильні вироби, до яких висуваються такі самі вимоги щодо корозійної стійкості і довговічності. Застосування кріпильних виробів з кольорових металів, іржостійких і легованих сталей та сплавів повністю задовольняють ці вимоги. Проте не завжди економічно вигідно і технічно можливе застосування цих матеріалів. У зв'язку з цим великого значення при виробництві виробів і обладнання набули захисні металеві та неметалеві покриття. Застосування таких покриттів, що захищають вироби з вуглецевої сталі від корозії, скорочує витрату дорогих металів і сплавів та знижує вартість кінцевої продукції.[25]

Висновок

Основною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, повна або зменшена нейтралізація дії небезпечних виробничих і шкідливих факторів на організм людини, зниження професійних захворювань та виробничого травматизму.

Варто прийняти до уваги, що охорона праці є найголовнішим питанням в галузі трудового права України. Як система правових норм охорона праці формує інститут Особливої частини трудового права України. Основні норми цього інституту зосереджені в таких нормативних актах, як Кодекс законів про працю України, Закон України «Про охорону праці», Основи законодавства України про охорону здоров'я, спеціальні положення, правила, стандарти, інструкції щодо охорони праці тощо.

Державна політика України щодо охорони праці виходить із конституційного права кожного громадянина на належні безпечні і здорові умови праці та пріоритету життя і здоров'я працівника по відношенню до результатів виробничої діяльності. Реалізація цієї політики має забезпечити постійне поліпшення умові безпеки праці, зменшення рівнів травматизму та професійної захворюваності. За будь-якої діяльності людини існує ризик отримати травму чи набути захворювання. Людина, яка володіє професійними навичками та знаннями правил безпеки, враховує цей ризик і застосовує заходи, які його зменшують або зовсім виключають.

Також, велике значення у забезпеченні достатньо-високого рівня охорони праці полягає у: передовому досвіді, пропаганді знань, новітніх досягнень техніки і науки в цій галузі. Основними формами та методами такої пропаганди є консультації, плакати та лекції, бесіди і навчальні посібники,

ВИСНОВОК

Для підвищення зносостійкості, термостійкості та корозійної стійкості деталей машин і інструментів широко застосовують різноманітні технологічні процеси нанесення захисних покриттів.

Тому дослідження процесів дифузійного ванадіювання на поверхнях деталей та інструментів сьогодні є актуальною задачею.

Аналіз літератури за напрямками досліджень показує, що дифузійна металізація є найбільш перспективним методом отримання високоякісних ванадієвих покриттів на деталях машин і інструментів. Відповідно дослідження у напрямку удосконалення технологічного процесу дифузійного ванадіювання є перспективними та затребуваними у машинобудуванні.

Аналіз отриманих покриттів показав, що товщина покриття залежить від часу насичення та кількості вуглецю у матеріалі. Для сталі із високим вмістом вуглецю товщина покриття збільшується на 5-10%.

Оптимальним для отримання якісного покриття завтовшки від 8 до 12 мікрометрів вважається час насичення від 2 до 3 годин.

З точки зору економічної ефективності застосування захисних покриттів призводить до подорожчання технологічних процесів, але при цьому термін служби деталей і інструментів з дифузним ванадієвим покриттям збільшується в 2-3 рази.

Виконуючи наукові дослідження, а також здійснюючи виробничі процеси, не можна забувати про охорону праці, яка є важливим елементом будь-якого виробництва.

Підсумовуючи результати досліджень, можна рекомендувати дифузійне ванадіювання для покращення експлуатаційних характеристик машинобудівних деталей та інструменту.

Список використаних джерел

1. Вісник машинобудування та транспорту №2, 2015. В. І. Савуляк, О. В. Поступайло, О. В. Шаповалова
2. Електронний ресурс. Режим доступу:
URL:https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shapovalova_materialoznavstvo/2.htm
3. Глосарій термінів з хімії // Й. Опейда, О. Швайка. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. — Донецьк: Вебер, 2008. — 758 с. — ISBN 978-966-335-206-0
4. Електронний ресурс. Режим доступу:
URL:<https://tmvi.sumdu.edu.ua/index.php/uk/employment/placement-and-enrollment/drill-collars-and-kellys-plant>
5. Електронний ресурс. Режим доступу:
URL:<https://ukrintech.com.ua/vymir-tverdosti-na-statsionarnykh-tverdomirakh>
6. Похмурский В. И., Далисов В. Б., Голубец В. М. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий. К. : Наукова думка, 1980. 188 с.
7. Лоскутова Т. В., Сігова В. І., Хижняк В. Г., Лоскутов В. Ф. Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах. Вид-во СумДУ, 2009. 190 с.
8. He Naoran, Xu Junqiang, Miao Xin, Liu Qi, Bo Xinwei. Preparation, Modification and Oxidation Resistance of Silicide Coatings on Moand Mo Alloys Substrates : a Review. Materials Reports. 2019. V. 33 № 19. P. 3227–3235.
9. Гузанов Б.Н., Косицын С.В., Сорокин В.Г., Пугачева Н.Б., Бабич Н.В. Коррозионная стойкость легированных алюмосилицидных покрытий. Энергомашиностроение. 1984. № 1. С. 24 – 26.

10. Gaillard-Allemand B., Vilasi M., Belmonte T., Steinmetz J. Silicide Coatings for Niobium: Mechanisms of Chromium and Silicon Codeposition by Pack Cementation. *Materials Science Forum*. 2001. P. 727–734.
11. Bauer I., Baryga A. Tribolcorrosion of a chromosiliconized layer. *Technical. Sciences* . 2013. № 16(2). P. 85–92.
12. Неснов Д. В. Зубчасті передачі [Текст]: навч. посібник. / Неснов Д. В., Фролов О. В., Корецька І. М. - Донецьк: ДонНТУ, 2009. — 45 с.
13. Диффузионные карбидные покрытия / Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю.А., Киндрачук М.В. – К.: Техника, 1991. – 168 с.
14. Рижков В.С. Економіка підприємства [Текст]: навч. пос. / В.С. Рижков, В.А. Панков, В.В. Ровенська. - Київ: Вид. "Слово". - 2014 р. -253 с.
15. Дегула А.І. Підвищення властивостей сталей і твердих сплавів нанесенням багат шарових карбідних та карбооксидних дифузійних покриттів на основі титану, ванадію і хрому: автореферат д
16. Дисертації на здобуття вч. ст. канд. техн. наук: 05.16.01 - Київ 2010, -22с
Савуляк В.І. Зносостійкі покриття з градієнтними властивостями / В.І. Савуляк, В.В. Савуляк. – Вісник машинобудування та транспорту URL: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/44>
17. Шахова, І.М. Багатокомпонентні наноструктурні покриття (TiAlSiY)N з надвисокою твердістю [Текст] / І.М. Шахова, О.В. Бондар; кер. О.Д. Погребняк // Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 5-9 лютого 2018 р. – С. 41.
18. Духота О.І. Концептуальний підхід до створення поверхневомодифікованих шарів і захисних покриттів підвищеної зносостійкості [Текст] / О.І Духота // Проблеми тертя та зношування. НАУ. – 2017. №74. – с. 97-103
19. Elazar Y. Protective coatings on medical implants by reactive diffusion / AIP Conference Proceedings 1623, 203 (2014) URL:

- 20.2. Електронний ресурс. Режим доступу:
URL:<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4901481>
21. Oskay C. Evolution of microstructure and mechanical properties of NiAl-Diffusion coatings after thermocyclic exposure / *Intermetallics* // Volume 89, October 2017, Pages 22-31 URL:
22. Електронний ресурс. Режим доступу: URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966979517301942>
23. Патент на корисну модель №86251 від 25.12.2013, бюл. № 24. Захисне зносостійке покриття / Глушкова Д. Б., Білий В.А.
24. Кшнякин В.С. Основи фізичного матеріалознавства / В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра. - Електронне вид. каф.: Електроніки і комп'ютерної техніки; ПМіТКМ. - Суми: СумДУ, 2015. - 466 с.
25. Strengthening / Hardening Mechanisms URL: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/strengthening.htm>
26. Сігова В.І. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин [Текст] : навч. посіб. / В.І. Сігова, П.В. Руденко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.
27. Божидарник В. В. Елементи теорії пластичності та міцності [Текст]: навч. посібник / В. В. Божидарник, Г. Т. Сулим. — Л.: Світ, 1999. — 530 с.
28. Металофіл, новітні технол. / *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* © 2018 ІМФ (Інститут металофізики 2018, т. 40, № 6, се. 777-794/DOI: 10.15407/mfint.40.06.0777. А. К. Орлов, І. О. Круглов, С. М. Волошко, І. Є. Котенко", С. І. Сидоренко, Т. Ішикава
29. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: <http://um.co.ua/14/14-8/14-84217.html>
30. Драго Р. Физические методы в химии. — М., 1981. — Ч. II. Кабанов А.Є.

31. Покриття у приладобудуванні : монографія / В. С. Антонюк. Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко та ін. - Київ : НТУУ «КПІ». Вид-во «Політехніка». 2016. - 360 с.

32. Дегула А.І. Підвищення властивостей сталей і твердих сплавів нанесенням багат шарових карбідних та карбооксидних дифузійних покриттів на основі титану, ванадію і хрому: дисертація на здобуття вч. ст. канд. техн. наук: 05.16.01 - Київ 2010, - 163 с

33. Електронний ресурс. Режим доступу: [URL:https://www.eaglealloys.com/uk/vanadium/](https://www.eaglealloys.com/uk/vanadium/)

34. Електронний ресурс. Режим доступу: [URL:https://iprop-ua.com/inv/5thy9exx/](https://iprop-ua.com/inv/5thy9exx/)

35. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/simple/>

36. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: <https://patents.google.com/patent/RU2240373C1/>