

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

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство _____

освітньо-професійної програми _____ «Прикладне матеріалознавство» _____

на тему: «Дослідження технології отримання, структури та властивостей зносостійких титанових покриттів.»

Здобувача групи МТ.м-21/2

Хижняка Серафима Миколайовича

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

_____ Серафим ХИЖНЯК

Керівник _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ, _____

к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

Нормоконтроль _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ _____

к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

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**

Хижняка Серафима Миколайовича

1. Тема проекту: «Дослідження технології отримання, структури та властивостей зносостійких титанових 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 титанових 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 хромових 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.	10.11.2013	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 _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Хижняк С.М. Дослідження технології отримання, структури та властивостей зносостійких титанових покриттів. – Рукопис.

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

Робота присвячена дослідженню технології отримання, структури та властивостей зносостійких титанових покриттів

За результатами проведених досліджень встановлено вплив дифузійної металізації на макро- та мікроструктуру дослідних зразків технологічних параметрів процесу; 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, використання зносостійких покриттів дозволяє підвищувати ефективність ріжучих інструментів. Використання сучасного обладнання дозволяє підвищити інтенсивність досліджень і отримати найбільш точні результати щодо механічних та експлуатаційних характеристик деталей з покриттями.

Аналіз отриманих покриттів свідчить, що легуючі елементи матеріалу основи впливають на формування покриття. Вміст вуглецю у сталі зазвичай призводить до збільшення товщини покриття. Присутність легуючих елементів зазвичай зменшує товщину покриття, але трохи підвищує його мікротвердість.

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

ABSTRACT

Khizhnyak S.M. Research of production technology, structure and properties of wear-resistant titanium coatings. - Manuscript.

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

The work is devoted to researching the production technology, structure and properties of wear-resistant titanium coatings

According to the results of the conducted research, the effect of diffusion metallization on the macro- and microstructure of the experimental samples of the technological parameters of the process 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 use of wear-resistant coatings increases the efficiency of cutting tools. The use of modern equipment makes it possible to increase the intensity of research and obtain the most accurate results regarding the mechanical and operational characteristics of parts with coatings.

The analysis of the obtained coatings shows that the alloying elements of the base material affect the formation of the coating. The carbon content of steel usually leads to an increase in coating thickness. The presence of alloying elements usually reduces the thickness of the coating, but slightly increases its microhardness.

Key words: STRUCTURE, STRENGTH, HEAT TREATMENT, PROTECTIVE COATING, STRENGTH LIMIT, WEAR RESISTANCE, CARBIDES, DIFFUSION, ALLOYING, DIFFUSION METALIZATION

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 77 сторінок, у тому числі 9 таблиць, 22 рисунка, бібліографії із 29 літературних джерел на 3 сторінках.

Мета роботи – вивчення технологій отримання дифузійних титанових покриттів на сталях та твердих сплавах, аналіз структури та властивостей модифікованих поверхонь, з метою визначення режимних параметрів обробки, що забезпечують підвищення зносостійкості матеріалу.

Задачі досліджень – провести патентно-літературний аналіз сучасного стану і проблеми створення захисних зносостійких титанових покриттів для деталей; дослідити мікроструктуру отриманих покриттів і проаналізувати зміни структурно-фазового стану; виконати дослідження механічних властивостей зразків після дифузійної металізації; визначити параметри обробки, що забезпечують підвищення зносостійкості робочих поверхонь.

Об'єкт дослідження – вплив технологічних параметрів процесу хіміко-термічної обробки на структуроутворення та механічні (експлуатаційні) властивості сталей.

Предмет дослідження - фазовий, хімічний склад, структура, механічні та експлуатаційні властивості багатошарових дифузійних покриттів на сталях і твердих сплавах.

Методи дослідження: мікроструктурний аналіз (світлова та растрова електронна мікроскопія), рентгеноструктурний та рентгеноспектральний аналізи, вимірювання мікротвердості, визначення зносостійкості.

Наукова новизна отриманих результатів. Підтверджено закономірності формування структури та фазового складу дифузійних покриттів, а також механічних властивостей поверхневих шарів виробів, які працюють в умовах тертя-зношування. Зміна температурно-часових умов насичення та склад реагентів істотно впливають як на товщину покриття так і на його механічні властивості.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
1.1 Дифузійне насичення.....	14
1.2 Дифузійні покриття	14
1.3 Карбідні покриття на залізі та сталях.....	20
1.4. Покриття на основі карбіду титану.....	20
1.5 Властивості зносостійких титанових покриттів.....	22
1.6 Обґрунтування вибору титанування для підвищення зносостійкості сталей.....	22
1.7 Огляд публікацій за темою досліджень	24
1.8 Патентний огляд за темою досліджень	26
Висновки	28
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
2.1 Вибір матеріалів	29
2.2 Мікроструктурний аналіз.....	32
2.3 Визначення твердості.....	36
2.4 Рентгеноструктурний аналіз.....	43
2.5 Рентгеноспектральний аналіз	45
Висновки	46
РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	47
3.1. Фазовий склад покриттів	47
3.2. Хімічний склад покриттів	49
3.3. Мікроструктура покриттів	52
Висновки	54
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	55

	8
4.1 Теоретична частина.....	55
4.2 Розрахункова частина	58
Висновки	62
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА	
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	63
5.1 Загальна характеристика термічної ділянки.....	63
5.2 Техніка безпеки при роботі на електричних печах	64
5.3 Аналіз потенційних шкідливих факторів на проєктованій ділянці..	65
5.4 Заходи щодо забезпечення безпеки праці.....	66
5.5 Екологізація виробництва.....	67
5.6 Забезпечення приточної вентиляції	69
Висновки	71
ВИСНОВКИ	72
ДЖЕРЕЛА.....	74

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

ДМ – дифузійна металізація

ХТО – хіміко-термічна обробка

ТО – термічна обробка

МО – методи осадження

ЗП – зносостійкі покриття

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасній промисловості для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин, штамтів та інструментів велике значення має розробка та впровадження нових технологічних процесів нанесення захисних зносостійких покриттів[17].

Якість захисних покриттів значно підвищує працездатність деталей машин, довговічність інструменту в умовах тертя ковзання, кавітації, дії високих температур і агресивних середовищ. Таке покриття можна віднести до багат шарових покриттів на основі карбідів, нітридів, боридів перехідних металів IV-VI груп періодичної таблиці, отриманих хіміко-термічною обробкою.

Вибір оптимального складу покриття і технології його нанесення визначається умовами експлуатації даного виробу. При цьому слід враховувати такі властивості і характеристики основного матеріалу і покриття: міцність, твердість, коефіцієнт теплового розширення, жароміцність та ін. Відомо, що порядок розташування в багат шарових покриттях таких сполук, як карбід TiC, нітрид TiN і оксид Al₂O₃, визначатиме перевагу цих та інших властивостей і характеристик. Наприклад, певна послідовність шарів Al₂O₃ – TiN – TiC дозволяє отримати покриття з максимумом хімічної стабільності, стійкості до лункоутворення, а розташування TiN – Al₂O₃ – TiC забезпечує мінімальний коефіцієнт тертя поверхні покриття. [17].

У свою чергу, вибір складу покриття та розташування окремих шарів визначаються властивостями та характеристиками компонентів фази. Відомо, що високу мікротвердість покриттів надає карбід титану TiC – 30-40ГПа, мікротвердість нітриду титану TiN– 20-25ГПа. [17].

В даний час використовується велика кількість способів нанесення різних видів покриттів. Кожен з них, володіючи певними характеристиками, гарантує отримання покриттів, що відрізняються за складом, структурою, щільністю,

адгезією і набором корисних властивостей. Слід зазначити, що дифузійні покриття, на відміну від покриттів, отриманих іншими методами, характеризуються поєднанням стабільності властивостей за різних умов експлуатації, високою адгезією до основи за рахунок значного проникнення насичуючих елементів в основу та базових елементів у покриття. . Експериментально встановлено, що особливо високі показники механічних, корозійностійких і трибологічних властивостей мають багатоконпонентні покриття з більш ніж двома фазами проникнення. [17].

Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку процесів багатоконпонентного дифузійного насичення твердих сталей і сплавів карбідоутворюючими елементами IV-VI груп періодичної системи є актуальними, а створені на основі нової технології отримання покриттів конкурентоспроможними. в сучасній промисловості. [17].

Мета роботи – вивчення технологій отримання дифузійних титанових покриттів на сталях та твердих сплавах, аналіз структури та властивостей модифікованих поверхонь, з метою визначення режимних параметрів обробки, що забезпечують підвищення зносостійкості матеріалу.

Задачі досліджень – провести патентно-літературний аналіз сучасного стану і проблеми створення захисних зносостійких титанових покриттів для деталей; дослідити мікроструктуру отриманих покриттів і проаналізувати зміни структурно-фазового стану; виконати дослідження механічних властивостей зразків після дифузійної металізації; визначити параметри обробки, що забезпечують підвищення зносостійкості робочих поверхонь.

Об'єкт дослідження – вплив технологічних параметрів процесу хіміко-термічної обробки на структуроутворення та механічні (експлуатаційні) властивості сталей.

Предмет дослідження - фазовий, хімічний склад, структура, механічні та експлуатаційні властивості багатошарових дифузійних покриттів на сталях і твердих сплавах.

Методи дослідження: мікроструктурний аналіз (світлова та растрова електронна мікроскопія), рентгеноструктурний та рентгеноспектральний аналізи, вимірювання мікротвердості, визначення зносостійкості.

Наукова новизна отриманих результатів. Підтверджено закономірності формування структури та фазового складу дифузійних покриттів, а також механічних властивостей поверхневих шарів виробів, які працюють в умовах тертя-зношування. Зміна температурно-часових умов насичення та склад реагентів істотно впливають як на товщину покриття так і на його механічні властивості.

Практичне значення отриманих результатів. Вивчення механізмів структуроутворення в процесі дифузійного насичення дозволяє керувати структурою і механічними властивостями захисних покриттів.

Особистий внесок здобувача. Автору належить аналіз літературних даних, постановки завдання та визначення мети дослідження, виготовлення зразків, проведення металографічних досліджень, визначення твердості, міцності та оформлення роботи.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів і списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 77 сторінок, у тому числі 22 рисунків, 2 таблиць, бібліографії із 29 джерел на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для підвищення стійкості до зношування інструментів та деталей машин, які мають тертя на поверхнях контакту, використовують спеціальні зносостійкі покриття. Умови інтенсивного виробництва накладають великий акцент на збільшення тривалості служби деталей і ріжучих інструментів. Застосування зносостійких покриттів на контактних поверхнях є одним із найпоширеніших методів підвищення ефективності роботи деталей.

Технічні та експлуатаційні характеристики металевої бази з високою стійкістю до корозії досягаються через утворення поверхневих шарів з нітридів, карбідів, боридів та інших металевих сполук.

Зносостійкі покриття з титану застосовуються у промисловості для вирішення різних проблем, зокрема:

Абразивне зношування: У виробництві та обробці матеріалів, де обладнання піддається інтенсивному абразивному тертю та стиранню, зносостійкі титанові покриття можуть захищати поверхні від втрати матеріалу та подовжувати їхній термін служби.

Корозія: У галузях, де існує значна експозиція до корозійних середовищ, таких як хімічна промисловість, морське устаткування або виробництво харчових продуктів, титанові покриття можуть забезпечувати високу стійкість до корозії.

Високі температури: У виробництві, де виникають високі температури, наприклад, у турбінних двигунах, обладнанні для виробництва скла або виробництва металургійних матеріалів, титанові покриття можуть витримувати екстремальні температурні умови.

Механічні навантаження: У промислових процесах, де існують великі механічні навантаження, наприклад, у важких машинних агрегатах, устаткуванні для обробки металів або гірничодобувній промисловості, зносостійкі титанові покриття можуть забезпечувати захист від пошкоджень та зношування.

1.1 Дифузійне насичення

Дифузійне насичення - це процес, при якому поверхневий шар виробу проникає металом або сплавом на високій температурі з використанням речовини, яка містить метал або сплав у порошкоподібній або пастоподібній формі (наприклад, цинкування, хромування, сульфідкування). Це проводиться як для декоративних цілей, так і для підвищення стійкості до зношування виробів[1].

Отримання зносостійких титанових покриттів є важливим аспектом у виробництві матеріалів з покращеними властивостями для застосувань, де вимагається висока стійкість до зношування. Декілька методів використовуються для отримання таких покриттів, а їх властивості визначають їхню ефективність у різних умовах експлуатації[2].

1.2 Дифузійні покриття

Мета хіміко-термічної обробки – підвищення експлуатаційних характеристик виробів, змінюючи хімічний склад покриттів, властивості поверхневих шарів та її структуру [1,2]. Існують три основні процеси, які протікають при ізотермічній витримці оброблюваних матеріалів та нагріванні в штучно створюваних активних середовищах:

- активація в середовищі насичуючих атомів, що надають властивість легування поверхневого шару оброблюваних матеріалів;

- хемосорбція активних атомів та поглинання їх частиною поверхні оброблюваного матеріалу;

- створення хімічних зв'язків з атомами металу за рахунок дифузії адсорбованих атомів вглиб оброблюваного матеріалу.

Перший процес: в залежності від складу насичувального середовища, характеру взаємодії окремих складових середовища між собою та з поверхнею оброблюваного матеріалу та агрегатного стану визначається його швидкість[2].

Другий процес: його здійснення проходить в результаті різниці в хімічних потенціалах насичувальних елементів, прагнення системи до зниження поверхневої енергії, і може бути описаний реакціями, де наведено відновлення молекулярних сполук, які містять насичуючі елементи з атомами оброблюваної поверхні. В основному цей процес визначається змочуванням, взаємодією твердої фази, адсорбцією з газовою та паровою. Ефективність протікання третього процесу значно залежить від природи елементів, що дифундують та температури[2].

Адсорбція атомів проходить завдяки безпосереднім контактам вільних атомів насичуючого елемента з поверхнею виробу, проходячи термодифузійне насичення [5]. При цьому головну роль відіграє процес відновлення оксидів на поверхні виробу, тому що при будь-якій ретельній підготовці деталі до дифузійного насичення на поверхні його завжди встигає створюватися окисна плівка, що заважає адсорбції атомів елемента, що насичує. Для того, щоб видалити окисну плівку, використовують травильні та відновлювальні середовища. Якщо насичення проводиться з порошкової суміші, то необхідно прослідкувати, щоб процес відновлення оксидів на поверхні порошку насичуючого елемента був забезпечений[2].

На основі фізико-хімічних характеристик активних насичувальних середовищ розрізняють чотири методи одержання захисних покриттів [8]:

- насичення із твердої фази;
- насичення із парової фази;

- насичення рідкої фази;
- насичення із газової фази.

Насичення з твердої фази можливе, коли пружність парів дифузного елемента набагато менше, ніж пружність парів насичуючого металу [3, 1, 2]. Насичення здійснюється контактним способом, тобто, тверді частинки порошку дифузного елемента, знаходяться в безпосередньому контакті з поверхнею насичуючого металу або сплаву. При цьому встановлюється пряме перенесення речовини в місцях контакту частинок порошку елемента, що дифундує, з поверхнею насичуючого матеріалу при суттєвому вкладі парової фази. Процес проходить при температурі 1273-1673 К. Якість покриттів та швидкість утворення взагалі визначаються площею контакту частинок порошку дифузного елемента з насичуючою поверхнею. У цього методу є переваги і недоліки. Основною перевагою даного методу є простота з технологічного погляду. Недоліком є приварювання частинок дифузного елемента до насичуючої поверхні, що істотно погіршує її якість[2].

Насичення з парової фази здійснюється шляхом формування покриттів, що проходить за допомогою випаровування дифузного елемента, утворення парової фази в контейнері, де розташовані насичуючі деталі і конденсації парів на поверхні останніх [1, 2]. Пари дифузного елемента адсорбуються на поверхні виробу і при високих температурах утворюються хімічні сполуки. При контактному способі випаровування металу здійснюється в реакційному просторі, коли оброблювана поверхня безпосередньо контактує з насичуючою речовиною. При безконтактному способі випаровування металу в реакційному просторі здійснюється на невеликій відстані від поверхні, що обробляється. Метод можливий при насиченні металів і сплавів елементами, що мають велику пружність парів порівняно зі сплавом, що обробляється, а також елементами, що мають низьку пружність пари. Для оцінки можливості отримання покриттів, вибору режиму насичення та способу реалізації використовують дані тиску парів металів в залежності від температур випаровування[3].

Процес здійснюють при температурах 1273-1723 К протягом декількох годин. Основною перевагою є відсутність у їх складі сполуки, що погіршують пластичність покриттів, та висока якість покриттів. До недоліків відносять створення високих температур у зоні випаровування, технологічна складність процесу, пов'язану з необхідністю застосування спеціального вакуумного обладнання, велику втрату при випаровуванні елемента, що дифундує[3].

Насичення з рідкої фази характеризується зануренням оброблюваних виробів у розплав, в якому елемент, що дифундує, знаходиться, в складі хімічних сполук [1, 2]. Коли дифузний елемент знаходиться у вільному стані, насичення проходить безпосередньо в розплаві рідкого металу при взаємодії з поверхнею, що обробляється. У випадку, коли дифузний елемент знаходиться у зв'язаному стані, атомарний стан елемент набуває в результаті хімічних реакції обміну, що відбуваються на зовнішній межі поділу насичуюче середовище – оброблена деталь. Процес протікає при температурах 1173-1373 К і часу витримки з 1 до 7 годин. [1, 2, 10].

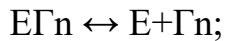
Переваги цього методу насичення чимало, що вказують на її перспективність застосування, а саме: порівняно мала тривалість процесу, висока якість одержуваних покриттів, можливість суміщення із загартуванням виробів безпосередньо з розплавів, обумовлена відсутністю попереднього нагрівання та подальшого охолодження виробів у ванні з розплавом. Однак цей метод має і ряд недоліків: леткість компонентів розплаву, низька стійкість ван, велика витрата солей, що виносяться з розплаву разом з виробами.

Метод насичення з газової фази характеризується на отриманні дифузного елемента в атомарному стані з хімічного з'єднання при його взаємодії з нагрітою поверхнею матеріалу, що обробляється [1, 2, 10].

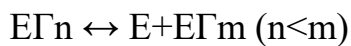
Дифузний елемент транспортується до насичуючого поверхні у вигляді газу, а його осадження супроводжується хімічними реакціями на межі розділу газова фаза – поверхня, що насичується, а також в об'ємі газової фази.

Галогеніди використовують як з'єднання, що є транспортерами та постачальниками елементів, які дифундують. У даному методі насичення процес здійснюють при температурах 1173-1773 К протягом кількох годин. Отримання покриттів при використанні методу насичення газової фази може здійснюватися завдяки наступним реакція [1]:

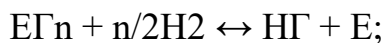
термічного розкладання – дисоціації:



диспропорціонування:



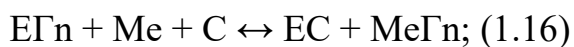
відновлення більш активними елементами (наприклад, воднем):



взаємодії з оброблюваним матеріалом шляхом простого обміну:



з утворенням хімічної сполуки з елементами насиченого матеріалу або з елементами газової фази (наприклад, вуглецем):



де E - дифузний елемент; Γ – галоген (F, Cl, Br); Me – метал, що насичує; n, m - цілі числа.

Насичення із газової фази може проходити контактним або безконтактним методом. Контактний метод характеризується тим, що вироби, що піддаються насиченню, завантажують у контейнер і засипають робочою сумішшю, яка складається з таких складових: порошки металу, що насичує, або його сполук, інертні добавки і активатори. В якості інертної добавки, яку вводиться до складу робочої суміші для запобігання спіканню металевої складової, частіше

використовують оксид алюмінію, колін, магнезит. В якості активаторів, в результаті взаємодії з якими насичуючий метал утворює газоподібні сполуки, застосовують галогеновмісні речовини: галогеніди амонію, галогеноводороди, галогенопохідні вуглеводні, галогеніди лужних і лужноземельних металів.

Найпоширенішим видом активатора є хлористий амоній [8, 12, 13]. При використанні контактного способу активна газова фаза утворюється в безпосередній близькості до поверхні виробу, що насичується в результаті взаємодії частинок порошку дифузного елемента з газоподібним галогеном. Контактний спосіб простий з технологічного погляду, забезпечує гарну якість покриттів, легко реалізується, не потребує спеціального дорогого обладнання і є дуже економічним у дрібносерійному виробництві, що є один з найкращих методів для дослідження. Однак є і недоліки: висока енергоємність і тривалість процесу, викликані потребою прогріву не тільки оброблюваних виробів, а й порошкової суміші з низькою теплопровідністю, погана керованість процесом, погіршення чистоти поверхні виробів за рахунок налипання суміші, велика витрата компонентів суміші, значною мірою стримують впровадження даного способу у виробництво.

Майже всі недоліки можна усунути при використанні газового безконтактного способу, при якому поверхня, що насичується, не контактує безпосередньо з елементом, що дифундує, а знаходиться в оточенні газової фази з галогенідом цього елемента [8]. Процес здійснюється в спеціальних контейнерах під постійною протокою газової суміші, що складається з галогенідів металу, газу носія і газу-відновника.

Однак, незважаючи на високу активність середовища, що насичується, більшу продуктивність, універсальність і широку номенклатуру виробів, що обробляються по конфігурації, безконтактний газовий спосіб має чимало суттєвих недоліків. До них слід віднести вибухонебезпечність середовища, що насичується, до складу якого входить водень, велика витрата вихідних реагентів, забруднення навколишнього середовища продуктами реакцій.

1.3 Карбідні покриття на залізі та сталях

Карбідні покриття надають металу основи поєднання фізичних, механічних та хімічних властивостей [10]. Вони можуть бути одношаровим і багатошаровим. Підвищення температури процесу допускає збільшення інтенсивності дифузійних процесів, а також активності газової фази за рахунок прискорення реакцій утворення хлоридів, швидкості доставки до поверхні сталей, що насичуються, та зростання тиску їх парів у реакційному просторі. Товщина однойменних карбідних покриттів виявляється тим більшою, чим вище температура процесу за рівних умов насичення [8].

Інтенсифікація зростання покриттів на основі карбіду хрому на поверхні сталей 45 при температурі процесу вище 1223K, обумовлена різким збільшенням тиску парів хлориду CrCl_2 в реакційному просторі. При обробці низьковуглецевих сталей за рахунок недостатньої кількості вуглецю в матриці пов'язана зниження можливості утворення карбідних покриттів за рахунок протікання дифузійних процесів[8].

У перші часи насичення спостерігається велика швидкість зростання товщини карбідних покриттів, яка надалі поступово зменшується зі збільшенням тривалості процесу [2, 6]. Особливо чітко можна спостерігати при нанесенні покриттів на основі карбідів титану та хрому на поверхні технічного заліза. Процес виникнення найбільших відхилень залежності товщини покриття – тривалість процесу від параболічної, яка наближається до лінійної у перші дві години. При нанесенні покриттів на основі карбіду цирконію на поверхню всіх досліджених сталей спостерігаються такі самі відхилення[8].

1.4. Покриття на основі карбіду титану

Протягом 6 год при окисленні карбіду титану на повітрі спостерігаються різкі зміни в поверхневому шарі зразка і в окалині, що утворюється [2, 3, 4]. При температурі 8000C тонкий шар окалини має темний колір, а край окисленого зразка - рівний. У міру різниці відстані від середини зразка

розташовані зони зі збільшенням кількості вуглецю, і на межі фаз: окалина - карбід - концентрація вуглецю досягає максимуму. При температурі 9000С характеристика окалини змінюється; становиться двошаровою із білим обідком ззовні і внутрішнім більш пористим шаром темного кольору. На межі фаз: окалина - карбід - є тонкий прошарок металевого титану. Як і при температурі 8000С, від центру зразка збільшується виділення вуглецю у напрямку до межі фаз: карбід - окалина.

Зі зростанням температури відбуваються нові зміни характеру окалини. При температурі 1000-11000С вона також двошарова, але, на відміну від окалини при 9000С, зовнішній світлий шар суттєво товстіший, а внутрішній пористий шар більш виражений. Металевий прошарок з чистого титану на межі фаз: окалина – карбід - є більш товстим шаром. Спостерігається значні виділення вуглецю у поверхневому шарі, що прилягає до окалини. При даній температурі в окаліні чітко видно два шари металеві фази, які розділені один від одного прошарками з окисних фаз. З'являються металеві кільця у шарі окалини за рахунок особливостей механізму процесу взаємодії карбїду титану з киснем, що протікає з виділенням вуглецю та металевого титану.

За особливостями формування окалини з рутила (TiO_2), що протікає в області високих температур (вище 9000С), відбувається збереження в шарі окалини металевого титану переважною дифузїєю титану до зовнішнього межі фаз. В результаті чого кисень виключається з процесу дифузїї шару окалини при окисленні карбїду. Утворення щільної окалини ззовні та внутрішнього темного пористого шару окалини представлено двосторонньою дифузїєю у процесі утворення окалини з TiO_2 при окисленні титану та його карбїду. Поява вуглецю та металевого титану у шарі окалини пояснюється особливостями формування оксикарбїдних фаз у процесі розчинення кисню в карбїді.

1.5 Властивості зносостійких титанових покриттів

Висока твердість: Титанові покриття відомі своєю високою твердістю, що робить їх стійкими до механічного зношування.

Добра адгезія: Ці покриття зазвичай мають високу адгезію до основного матеріалу, що важливо для їхньої тривалої дії.

Висока стійкість до абразивного зношування: Титанові покриття виявляють високу стійкість до абразивного зношування, що робить їх ідеальними для застосувань, де присутнє тертя або стирання.

Відмінна корозійна стійкість: Деякі типи титанових покриттів можуть мати високу стійкість до корозії, що робить їх відмінними для застосування в агресивних середовищах.

Ці методи та властивості забезпечують можливість створення зносостійких титанових покриттів, які знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи авіаційну, автомобільну, медичну та промислову сфери.

1.6 Обґрунтування вибору титанування для підвищення зносостійкості сталей

Титан - хімічний елемент із символом Ti та атомним номером 22. Іноді його називають "металом космічного віку" [6], він має низьку щільність і є міцним, блискучим, стійким до корозії перехідний метал із срібним кольором.

Елемент зустрічається в ряді родовищ корисних копалин, головним чином рутилу та ільменіту, які широко поширені в земній корі та літосфері, і він міститься майже у всіх живих істотах, гірських породах, водоймах та ґрунтах [8]. Метал видобувається з основних мінеральних руд за допомогою процесу Кролла [8] або процесу Хантера. Його найпоширеніша сполука, діоксид титану, є популярним фотокаталізатором і використовується у виробництві білих пігментів. [9] Інші сполуки включають тетрахлорид титану

(TiCl₄), компонент димових завіс та каталізаторів; і трихлорид титану (TiCl₃), який використовується як каталізатор у виробництві поліпропілену [7].

Титан може бути сплавлений залізом, алюмінієм, ванадієм, молібденом, серед інших елементів, для отримання міцних легких сплавів для аерокосмічної промисловості (реактивні двигуни, ракети та космічні кораблі), військових, промислових процесів (хімічні та нафтохімічні продукти, опріснення, целюлоза, і папір), автомобільні, агропродовольчі, медичні протези, ортопедичні імплантати, стоматологічні та ендодонтичні інструменти та напилки, зубні імплантати, спортивні товари, ювелірні вироби, мобільні телефони та інші програми [7].

Дві найкорисніші властивості металевої форми - це корозійна стійкість і найвище відношення міцності до ваги будь-якого металу. [6] У своєму нелегованому стані титан настільки ж міцний, як і деякі сталі, але на 45% легший. [7] Існує дві алотропні форми [8] та п'ять природних ізотопів цього елемента, від 46Ti до 50Ti, причому 48Ti є найбільш поширеним (73,8%) [11]. Властивості титану хімічно та фізично схожі на цирконій, оскільки обидва вони мають однакову кількість валентних електронів і знаходяться в одній групі в таблиці Менделєєва.

Фізичні властивості. Титан, металевий елемент, визнаний високим відношенням міцності до ваги. [10] Це міцний метал з низькою щільністю, який є досить пластичним (особливо в безкисневому середовищі) з металево-білим кольором [3]. Порівняно висока температура плавлення (понад 1650 ° C або 3000 ° F) робить його корисним як тугоплавкий метал [10]. Він парамагнітний і має досить низьку електро- та теплопровідність [3].

Комерційні (99,2% чистоти) марки титану мають граничну міцність на розрив близько 434 МПа, що дорівнює міцності звичайних низькосортних сплавів сталі, але на 45% легший. Титан на 60% щільніший за алюміній, але більш ніж удвічі міцніший [13]. Деякі титанові сплави (наприклад, Beta C)

досягають міцності на розрив понад 200000 psi (1400 МПа). Однак титан втрачає міцність при нагріванні вище 430 ° C (806 ° F) [16].

Він досить твердий (хоча і не такий твердий, як деякі сорти термічно обробленої сталі), немагнітний і поганий провідник тепла та електрики. Механічна обробка вимагає запобіжних заходів, оскільки матеріал розм'якне і пожовкне, якщо не використовувати гострі інструменти та належні методи охолодження. Як і ті, що виготовлені зі сталі, титанові конструкції мають межу втоми, що гарантує довговічність у деяких випадках. Твердість титанових сплавів також зазвичай не така хороша, як інші матеріали, такі як алюмінієві сплави та вуглецеве волокно, тому він використовується менше для конструкцій, що вимагають високої жорсткості [10].

Титан - хімічний елемент з атомним номером 22, а також відповідна проста речовина — твердий сріблястий метал, точка плавлення 1675 °C, точка кипіння 3262 °C, густина 4540 кг/м³. [16] Питома теплоємність альфа-форми різко зростає, оскільки вона нагрівається до цієї температури переходу, але потім падає і залишається досить постійна форма незалежно від температури. [16] Як і цирконій та гафній, існує додаткова омега-фаза, яка термодинамічно стійка при високих тисках, але є метастабільною при навколишньому тиску. Ця фаза, як правило, гексагональна (ідеальна) або тригональна (спотворена), і її можна розглядати як причину м'якого поздовжнього акустичного фону фази 2, що спричиняє руйнування площин атомів [17].

1.7 Огляд публікацій за темою досліджень

Підвищення зносостійкості сталей і твердих сплавів дифузійним азототитануванням [2].

Вивчено будову захисних азототитанових покриттів та їх вплив на властивості поверхневого шару сталей і твердих сплавів. Встановлено фазовий склад отриманих покриттів, визначено мікротвердість окремих фаз.

В роботі проведено мікроструктурний та рентгеноструктурний аналіз сталей і твердих сплавів після титанування та азототитанування. Показано можливість отримання покриттів типу карбід титану – нітрид титану шляхом послідовної реалізації процесів азотування та дифузійного титанування. Встановлено, що TiN - TiC покриття за зносостійкістю переважають TiC покриття в 1,2 – 1,4 рази.

Титаноалітування твердого сплаву BK8 в закритому реакційному просторі [3].

Досліджено фазовий та хімічний склад, структуру та мікротвердість поверхневих зон титанованого і титаноалітованого твердого сплаву BK8. Показано залежність будови та складу покриттів від параметрів обробки. Встановлено, що підвищення експлуатаційних властивостей різальних титаноалітованих пластин BK8 зростає в 2,6- 3,5 рази.

Визначено, що на сплаві BK8 при титаноалітуванні утворюються багат шарові покриття за участю інтерметалідів Co_2Ti , $AlCoTi_2$, карбиду TiC, оксиду Me_2O_3 . Виявлено перерозподіл вольфраму і кобальту в дифузійній зоні та значне проникнення насичуючих елементів, в першу чергу алюмінію, в основу.

Підвищення стійкості титаноалітованих багатогранних твердосплавних пластин з механічним кріпленням зі сплаву BK8 при різанні сталі У8А в порівнянні з серійним в 3,1 рази дозволяє рекомендувати процес титаноалітування для впровадження з метою підвищення роботоздатності твердосплавних пластин із сплаву BK8.

Дослідження фазового та хімічного складу комплексних карбідних покриттів[18].

За результатами рентгеноструктурного аналізу встановлено, що при хромотитануванні вуглецевих сталей 45 і У8А на поверхні утворюється карбідне покриття з шарів карбідів Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , TiC . Дифузійні шари, одержані хромованадіюванням, складаються з карбіду хрому Cr_{23}C_6 і карбіду ванадію VC .

Рентгеноспектральні дослідження показують, що при одночасному послідовному хромотитануванні сталей 45, У8А концентрація заліза в карбіді хрому вища, ніж у карбіді титану. Крім того, відбувається легування перехідної зони хромом. Дослідження фазового і хімічного складу дають змогу запропонувати раціональні температурно-часові параметри процесів для одержання покриттів з прогнозованим хімічним та фазовим складом. Так, хромотитанування для вуглецевих і низьколегованих сталей (сталь 20, У8А) раціонально виконувати за температури 1000—1050С, час насичення 2 год., хромування 1 год. титанування (товщина шару при цьому становить 15—18 мкм). Хромованадіювання для інструментальних та конструкційних сталей (сталь 45, Х12М) раціонально виконувати при температурі 1000—1050С, час насичення 2 год., хромування 2 год. ванадіювання (товщина шару 14—16 мкм).

1.8 Патентний огляд за темою досліджень

Спосіб нанесення карбонітридних покриттів на сталі та тверді сплави [25].

Спосіб нанесення карбонітридних покриттів на сталі і тверді сплави, що включає приміщення в реакційну камеру виробів, порошку титану, карбюризатора, вакуумування до 13Па, нагрівання виробів до температури 950-1100°С, повторне вакуумування до 13Па, введення чотирихлористого вуглецю температури протягом 2-4 годин, яка відрізняється тим, що потім виробляють охолодження камери до температури 800-850оС і вводять в реакційний простір молекулярний азот, доводячи тиск у камері до 105Па, після чого здійснюють ізотермічну витримку протягом 0,5-1 години при температурі і охолоджують камеру до кімнатної температури.

Спосіб нанесення покриттів [19].

Спосіб нанесення покриттів плазмовим напиленням порошкоподібного металевого матеріалу, що включає введення в плазмовий струмінь газової суспензії порошкоподібного металевого матеріалу і подачу його на підкладку, який відрізняється тим, що газову суспензію порошкоподібного матеріалу вводять в плазмовий струмінь з надзвуковою швидкістю.

Спосіб формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі [26].

Спосіб формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі, що включає очищення поверхні виробу і іонно-плазмове азотування в середовищі реактивного газу - азоту, який відрізняється тим, що перед іонно-плазмовим азотуванням проводять іонно-плазмове покриття поверхні виробу моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів, при цьому на виріб подають напругу змінного або постійного струму негативним полюсом величиною 50...150 В при тиску реактивного газу $4 \cdot 10^{-2}$ - $8 \cdot 10^{-2}$ Па зі швидкістю осадження 1...3 мкм/год. упродовж 30...90 хв. при температурі 120...200°C, після чого температуру підвищують зі швидкістю 3...10°C /хв. до 550°C і проводять іонно-плазмове азотування, при цьому на виріб подають напругу змінного струму частотою 50...10000 Гц або постійного струму негативним полюсом величиною 300...600 В при тиску реактивного газу 1...10 Па.

Спосіб нанесення карбонітридних дифузійних покриттів на поверхню сталей та твердих сплавів [27].

Спосіб нанесення дифузійних покриттів, який включає завантаження до камери зразків, карбюратора та порошку титану, герметизування реакційної камери, вакуумування, нагрів до температури насичення 1000-1050 °C, повторне вакуумування, введення чотирихлористого вуглецю 4-5 мл/м², ізотермічну витримку при температурі насичення протягом 2-4 годин, який відрізняється

тим, що перед процесом титанування зразки підлягають азотуванню в середовищі аміаку.

Висновки

Аналіз літературних даних підтверджує, що покриття деталей дифузійними матеріалами дозволяє підвищити їх надійність і тривалість функціонування. Широко визнана потреба у розробці нових методів зміцнення поверхні для ефективного використання обмежених матеріальних ресурсів. Крім того, застосування зносостійких покриттів на поверхні широко поширене для поліпшення характеристик ріжучого інструменту.

Виходячи з вищевказаного, спостерігається тенденція заміщення об'ємного зміцнення деталей легуванням та різними методами термообробки на поверхневе зміцнення. Це дозволяє досягти високо зміцненого стану на практиці за менших витрат та з незначним використанням легуючих елементів у базовому конструкційному матеріалі.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір матеріалів

Для проведення досліджень були обрані такі матеріали:

1. Сталь 45 - це конструкційна вуглецева сталь з приблизним вмістом 0,45% вуглецю. Вона застосовується для виробництва деталей, які вимагають середньої міцності та твердості, наприклад, шестерні, валки, осі та інші механічні складові.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі 45, ДСТУ 7809

Хімічний елемент	%
Вуглець(C)	0.42 - 0.5
Кремній (Si)	0.17-0.37
Мідь (Cu), не більше	0.30
Марганець (Mn)	0.5 - 0.8
Нікель (Ni) , не більше	0.3
Фосфор (P), не більше	0.035
Хром (Cr)	1.25-1.62
Сірка (S), не більше	0.04

Таблиця 2.2

Температура критичних точок сталі 45, ДСТУ 7809

Критична точка	° C
Ac ₁	730
Ac ₃	755
Ar ₃	690
Ar ₁	780
Mn	350

Таблиця 2.3

Механічні властивості при T=20°C, ДСТУ 7809

Сортамент	Розмір	s_B	s_T	d_5	y	Термообр.
-	мм	МПа	МПа	%	%	-
Труби, ДСТУ 7809		588	323	14		
Пруток калібрований., ДСТУ 7809		590			40	Відпал
Прокат, ДСТУ 7809	до 80	600	355	16	40	Нормалізація
Прокат нагартован., ДСТУ 7809		640		6	30	
Прокат відпал., ДСТУ 7809		540		13	40	
Стрічка відпал., ДСТУ 7809		440-690		14		
Стрічка відпал., ДСТУ 7809		690-1030				
Стрічка, ДСТУ 7809	6 - 60	600	355	16	40	Нормалізація

2. Сталь У8А - це високовуглецева інструментальна сталь з вмістом близько 0,8% вуглецю. Вона використовується для виготовлення різальних інструментів, таких як свердла, фрези, ножі, які потребують високої твердості та стійкості до зношування.

Таблиця 2.4

Хімічний склад сталі У8А, ДСТУ 3833

Хімічний елемент	%
Вуглець(C)	0.75 - 0.84
Кремній (Si)	0.17 - 0.33
Мідь (Cu), не більше	0.25
Марганець (Mn)	0.17 - 0.28
Нікель (Ni) , не більше	0.25
Фосфор (P), не більше	0.025
Хром (Cr)	0.2
Сірка (S), не більше	0.018

Таблиця 2.5

Температура критичних точок сталі 45, ДСТУ 3833

Критична точка	° С
Ac ₁	720
Ar ₁	700
Mn	245

Таблиця 2.6

Механічні властивості при T=20°C, ДСТУ 3833-98

Розмір	σ _T	у
-	МПа	%
Стрічка нагартован., ДСТУ 3833-98	740-1180	
Стрічка відпал., ДСТУ 3833-98	640-740	10-15

3. T15K6 є твердосплавним матеріалом, склад якого включає близько 6% кобальту (Co), 15% титану (Ti), та приблизно 79% вольфраму (W). Цей матеріал використовується для виготовлення різальних інструментів, які потребують високої твердості та мають високу стійкість до зношування.

Таблиця 2.7

Хімічний склад T15K6, ДСТУ 18882

Хімічний елемент	%
Кобальт (Co), не більше	6
Ваннадій (W)	79
Титан (Ti)	15

2.2 Мікроструктурний аналіз

Мікроскопічним методом дослідження (мікроаналізом), називається дослідження структури металів і сплавів за допомогою мікроскопа на спеціально підготовлених зразках. Будова (структура) металів, яка вивчається мікроаналізом, називається мікроструктурою.

Мікроаналіз дає можливість вивчати структуру металів і сплавів після різних видів обробки (деформації, термообробки та інші), а також дозволяє визначати форму, розмір та розташування різних елементів цієї структури, які мають назву структурних складових (зерен, включень різного роду та інші).

Зразок металу, підготовлений для мікроаналізу, називають мікрошліфом. Виготовлення мікрошліфа складається з вирізування зразка, шліфування і полірування до дзеркального блиску його поверхні, яку було вибрано для дослідження. Щоб визначити мікроструктуру, дзеркальну структуру мікрошліфа піддають травленню спеціальними реактивами. Для сталі, наприклад, більш широко застосовують реактив, який являє собою 4-відсотковий розчин азотної кислоти (HNO_3) у спирті чи воді [17].

Для мікроаналізу використовуються металографічні мікроскопи ММУ-3, МИМ-6, МИМ-8. Ці мікроскопи працюють на принципі віддзеркалення світла від поверхні мікрошліфа, а тому вони дозволяють досліджувати будову тільки непрозорих предметів (металів, пластмас, металокераміки і т.п.).

Робота мікроскопу така (рис. 2.1). Мікроскоп спрямовує пучок світла від джерела (лампа) L через конденсер C, напівпрозору пластину-освітлювач I, лінзуоб'єктив O на поверхню зразка S, при цьому лінза конденсер C і напівпрозора пластину-освітлювач I пучок світла роблять паралельним осі мікроскопа. Відбите від поверхні зразка S світло проходить наскрізь через освітлювач I, потрапляє в лінзу-окуляр E і досягає ока дослідника.

Якщо, мікрошліф має дзеркальну поверхню, то усе світло, яке падає на поверхню шліфа, відбивається і досягає дослідника, який бачить тільки рівну поверхню зразка і не спостерігає на ній ніякої структури металу (рис.2.2 а,б).

Щоб визначити структуру металу, як було описано вище, роблять травлення дзеркальної поверхні. Внаслідок цього травитель неоднаково

розчиняє різні ділянки поверхні. Одні ділянки розчиняються інтенсивно, другі менш інтенсивно, а треті зовсім не розчиняються. Таким чином, на поверхні зразка утворюється рельєф, котрий відповідає структурі металу. Наприклад, ділянки поверхні, які мають найбільші внутрішні напруження, а це – границі між зернами, будуть розчинятись з найбільшою інтенсивністю. Тому на місці цих границь після травлення залишаються заглибини. Коли ж пучок світла влучить до цих границь (заглибин), то він розсіється, а не віддзеркалиться, і дослідник буде бачити на місці границь темні ділянки. Таким чином рельєф на поверхні зразка, який виникає після травлення, спостерігається у вигляді контрасту (нерівномірного освітлення поверхні), котрий дає досліднику необхідну інформацію про структуру металу (рис. 2.2 в,г).

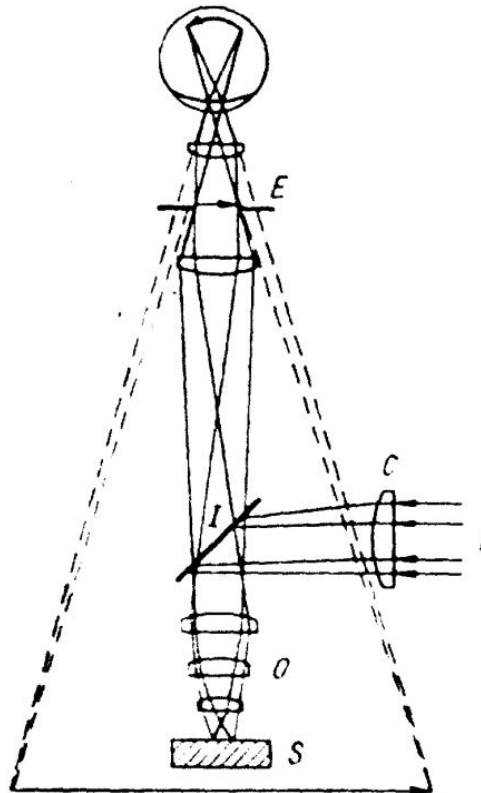


Рисунок 2.1 - Схема принципу роботи металографічного мікроскопа [17]

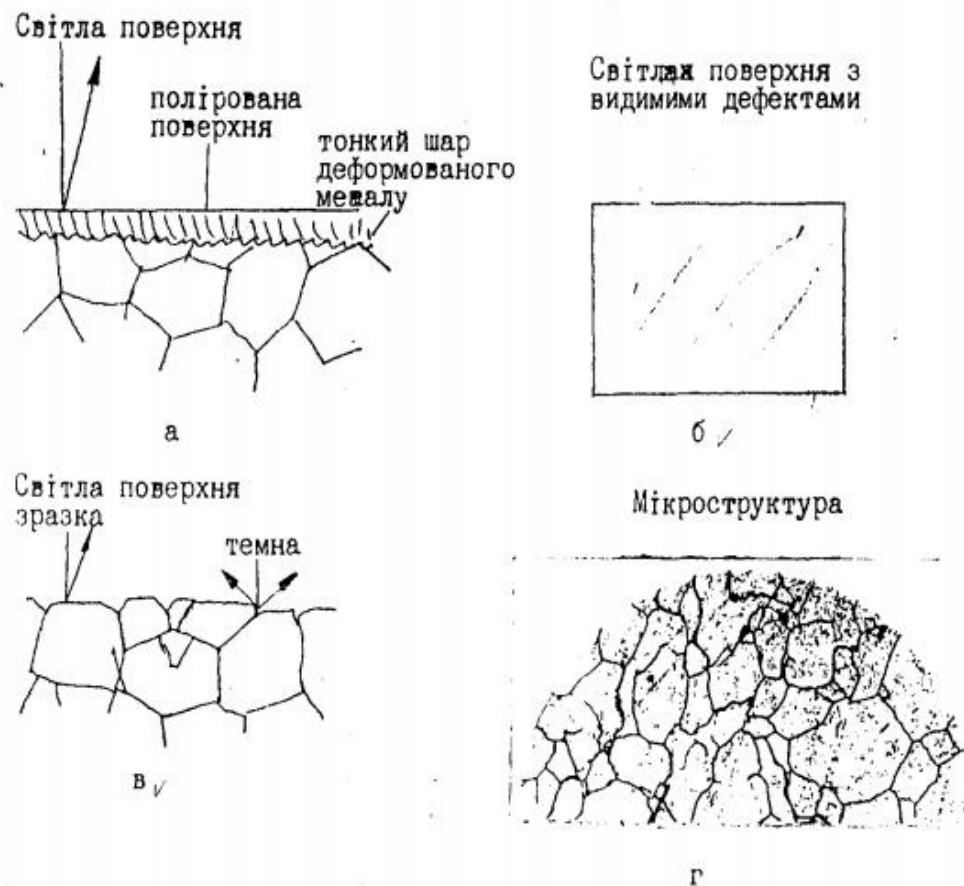


Рисунок 2.2 - Зображення структури металу під мікроскопом [17]
 а – схема, яка пояснює зображення поверхні мікрошліфа після полірування; б – зображення поверхні мікрошліфа, яке спостерігається під мікроскопом, до травлення; в – схема, яка пояснює зображення поверхні мікрошліфа після травлення; г – дійсне зображення мікроструктури шліфа після травлення

Особливе місце серед оптичних мікроскопів посідає цифровий мікроскоп. Професійні цифрові мікроскопи - це серйозний технологічний прорив в сучасному приладобудуванні. У конструкції таких пристроїв оптична система поєднана з трансформуючою матрицею, що дозволяє перетворювати світловий потік в цифровий сигнал і передавати його для подальшої обробки на комп'ютер. До цифрових мікроскопів передбачено підключення фото- і відеокамер для фіксації даних, а також монітори і принтери для їх візуалізації. Залежно від типу виведення зображення розрізняють USB-мікроскопи і ТБ-мікроскопи. Сучасні цифрові мікроскопи зображені на рис. 2.3-2.4



Рисунок 2.3 - Металографічний мікроскоп Olympus BX53M [18]



Рисунок 2.4 - Металографічний мікроскоп Fein Optic [19]

2.3 Визначення твердості

Основні методи вимірювання твердості:

Метод Брінелля –

Кулька із загартованої сталі діаметром D вдавлюється в зразок або виріб під дією навантаження P , після зняття якого вимірюють діаметр відтиску d (рис. 2.5) [20].

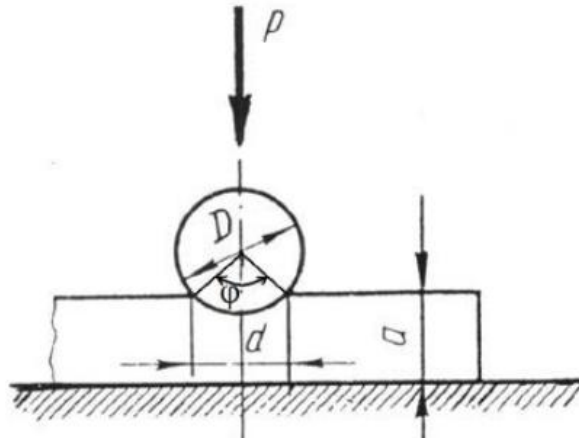


Рисунок 2.5 – Схема випробування твердості за методом Брінелля

Всі числа твердості позначають літерою Н від 3бнгл. “Hardness” – твердість. Число твердості по Брінеллю HB дорівнює відношенню навантаження P (кгс) до площі кулькової поверхні відтиску F (мм^2):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (2.1)$$

де P – навантаження, кгс;

D – діаметр кульки, мм;

d – діаметр відтиску, мм.

Тому твердість по Брінеллю має розмірність напруги $\text{кгс}/\text{мм}^2$. З метою наслідування ця розмірність не замінена на МПа, у відповідності з системою міжнародних одиниць (СИ), тем більше що поряд з числом твердості розмірність не вказують.

Якщо $P=3000$ кгс, $D=10$ мм та витримування під навантаженням складає 10...15 с, то ці умови випробування поряд зі значенням HB не вказують. Будьякі інші умови випробувань повинні бути вказані. Наприклад, 185HB 5/650/20 означає

твердість в 185 одиниць Брінелля при використанні кульки с $D=5$ мм при $P=650$ кгс і часу витримування під навантаженням 20 с.

Методом Брінелля можна випробувати матеріали с твердістю не більше 450 НВ, тому що при більшій твердості матеріалу кулька із загартованої сталі деформується [20].

Умови розміщення відтисків на поверхні зразка. При втисканні наконечника навколо його відтисків виникають зони пластичної деформації, в яких матеріал деформаційно зміцнюється (явище наклепу) і твердість його збільшується. Щоб ці зони не вносили похибки у вимірювання твердості, відстань між центрами двох сусідніх відтисків має бути $4d$, а для м'яких металів (<35 НВ) – понад $6d$. Для забезпечення стійкості зразка, усунення похибки від центра відтиску до краю зразка повинна бути більшою за $2,5d$, а для м'яких металів – $3d$.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд твердоміра Брінелля [21]

Твердоміри підлягають періодичній перевірці. Зразковим динамометром визначають відносну похибку навантаження. Перевіряють відхилення діаметрів кульок від номінальних. Поточна перевірка точності вимірювань (після заміни кульки, перед вимірюванням твердості партії зразків) здійснюється за допомогою зразкових мір твердості.

Вимірювання діаметра відтиску. Діаметр відтиску виміряють відліковим мікроскопом (рис. 2.7).

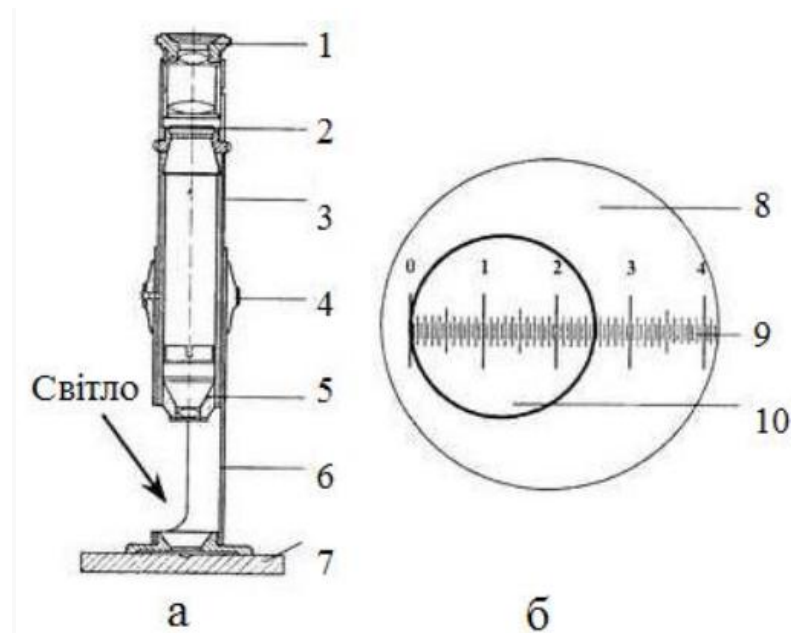


Рисунок 2.7 – Відліковий мікроскоп МПБ-2 (а)

та схема вимірювання діаметра відтиску за його шкалою (б):

1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – тубус; 4 – кільце регулювання чіткості зображення; 5 – об'єктив; 6 – корпус; 7 – зразок з відтиском; 8 – поле зору мікроскопа; 9 – шкала з ціною поділки 0,05 мм; 10 – відтиск

У корпус 6 мікроскопа встановлено тубус 3 оптичної системи, у який вмонтовані окуляр 1, об'єктив 5 та сітка зі шкалою 2 для вимірювання діаметра відтисків. Обертанням окуляра 1 в протилежних напрямках піднімають або опускають його відносно шкали, досягаючи її чіткого зображення. Обертанням кільця 4, що забезпечує піднімання чи опускання тубуса 3, регулюється чіткість зображення контуру відтиску.

Метод Роквелла

На відміну від методу Брінелля твердість по Роквеллу визначають не по діаметру відбитка, а по глибині відбитка [22].

На приладі Роквелла можна виміряти твердість загартованої і відпущеної сталі, твердих сплавів, а також твердість поверхневого прошарку.

Сутність цього методу полягає в тому, що у дослідний зразок вдавлюють діамантовий конус із кутом при вершині 120° для твердих металів або сталеву загартовану кульку діаметром 1,5 мм - для м'яких металів. Конус (кульку) вдавлюють двома послідовними навантаженнями: попереднім P₀ - 10 кг, і основним P_I - 100 кг для кульки (шкала В), - 150 кг для діамантового конуса (шкала С) і - 60 кг для діамантового конуса при визначенні твердості дуже твердих і більш тонких матеріалів (шкала А).

Твердість по Роквеллу вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості приймають значення, що відповідає переміщенню наконечника (індентора) при вдавлюванні на 0,002 мм. При необхідності твердість, визначену по Роквеллу, можна перевести у твердість по Брінеллю, користуючись таблицею. Практично значення твердості по Роквеллу визначається по індикатору приладу безпосередньо в процесі дослідження [22].

Виміри твердості по Роквеллу виконуються:

а - діамантовим конусом із навантаженням 150 кгс вимірюється твердість загартованої і відпущеної сталі, а також цементованих деталей. Показання твердості визначають по чорній шкалі С індикатора і позначають HRC (наприклад 60 HRC);

б - діамантовим конусом із навантаженням 60 кгс визначається твердість твердих сплавів і мікротвердість тонких платівок. Показання визначають по чорній шкалі А індикатора і позначають HRA (наприклад 75 HRA);

в - сталеву кульку з навантаженням 100 кгс визначається твердість м'якої відпаленої сталі і кольорових металів. Показання визначають по червоній шкалі В індикатора і позначають HRB (наприклад 55 HRB).

Визначення твердості виконується у всіх трьох випадках після зняття основного навантаження по показанню великої стрілки.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд твердоміра Роквелла [23]

Устрій приладу Роквелла (ТК-2) аналогічний устрою приладу Брінелля (ТШ-2) і відрізняється лише індентором. Індентором у приладі Роквелла використовується діамантовий конус, який має при вершині кут 120° , що передає глибину відбитка на індикатор.

Визначення твердості виконується таким способом. На предметний столик установлюється дослідний зразок і обертанням маховика піднімається до наконечника доти, поки мала стрілка індикатора не досягне червоної точки, а велика з похибкою 5 поділок - нуля шкали індикатора. Обертанням барабана, що пов'язаний із рантиком індикатора тросиком, установити 0 шкали проти кінця великої стрілки індикатора. Плавним рухом руки натиснути на клавішу і включити в роботу привід навантаження. Після закінчення циклу навантаження зробити відлік твердості по шкалі індикатора. Обертанням маховика проти годинникової стрілки дослідний зразок відвести від наконечника і зняти зі столу. Для кожної деталі рекомендується провести не менше 3 навантажень [22].

Метод Віккерса

При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом (ГОСТ 2999-75) в поверхню зразка вдавлюють алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині $\alpha < 136^\circ$. Після зняття навантаження $P = 10 - 1000$ Н, що діяло певний час (10 – 15 с), вимірюють діагональ відбитка d , що залишився на поверхні зразка. Число твердості записується без одиниці вимірювання, наприклад, HV 250 [24].

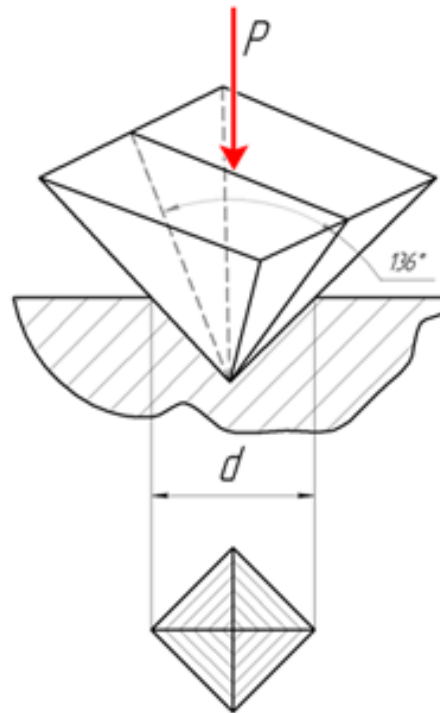


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання твердості за Віккерсом

Визначається твердість діленням навантаження на площу бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854P/d^2 \quad (2.2)$$

Якщо число твердості виражається в МПа, то після нього зазначається одиниця вимірювання, наприклад, HV = 3200 МПа.

Вимірявши діагональ d відновленого відбитка за допомогою вимірювального мікроскопа і знаючи використане навантаження P , можна знайти число твердості за спеціальними таблицями.

Відносно невеликі навантаження і мала глибина вдавлювання індентора (менше від 1 мм) обумовлюють необхідність більш ретельної підготовки поверхні. Як правило, поверхня повинна бути відполірована і вільна від наклепу. Для отримання достовірних значень HV на кожному зразку роблять не менше п'яти вимірювань.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд твердоміра Віккерса [25]

Числа HV і HB близькі за абсолютною величиною, що обумовлено рівністю кута при вершині піраміди і кута між дотичними до кульки в разі відбитка із $d = 0,375 D$. Важливе значення методу Віккерса – це геометрична подібність відбитків за будь-яких навантажень і можливість визначення твердості на зразках малих перетинів і з тонкими шарами структур різної твердості. Навантаження при випробуванні вибирають залежно від товщини виробу і його твердості, при цьому співвідношення товщини зразка або шару до діагоналі відбитка повинно бути не менше 1,5.

2.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз – один з найбільш розповсюджених фізичних методів дослідження і контролю матеріалів. Він дозволяє визначати фазовий склад матеріалів, склад твердих розчинів, розміри і форму кристалів, внутрішні напруження та інші параметри.

Рентгеноструктурний аналіз зразків проводиться на установках типу ДРОН в мідному (або іншому) монохроматизованому випромінюванні. Дифрактометр призначений для проведення різноманітних рентгенографічних досліджень полікристалічних зразків та монокристалів. Універсальність пристрою обумовлена можливістю використання різноманітних варіантів геометрії зйомки[24].



Рисунок 2.7 – Рентгенівський дифрактометр Rigaku

В даному випадку фокусування здійснювалося за методом Бреґґа-Брентано, коли плоский зразок встановлюється таким чином, що ось обертання датчика дифрактометру лежить в площині зразка і нормаль до його поверхні є бісектрисою кута утвореного падаючим пучком рентгенівських променів і відбитим пучком, що попадає в приймач. Кутова швидкість переміщення приймача вдвічі більша швидкості повороту зразка, завдяки чому зберігається незмінною геометрія зйомки[24].

Фазовий рентгеноструктурний аналіз базується на тому, що кожна фаза має свою специфічну кристалічну ґратку з певними параметрами, якій на дифрактограмі відповідає певний набір ліній. Провівши ідентифікацію ліній можна отримати точні дані по якісному та кількісному фазовому складу досліджуваного матеріалу. Інтенсивність ліній різноманітних фаз залежить від багатьох факторів, в тому ж числі і від кількості фази[24].

Відбиття рентгенівських променів від сімейства паралельних кристалографічних площин відбувається тільки при певному значенні кута падіння, який зв'язаний з довжиною хвилі і міжплощинною відстанню законом Вульфа-Бреґґа:

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

де:

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

d – відстань між площинами ґратки;

n – порядок відбиття;

θ – кут Бреґґа

Кут між напрямленням падаючого і відбитого пучку дорівнює 2θ .

Дифрактограми від поверхні зразків знімали при струму аноду 12-14 мА та напрузі 30-35 кВ в інтервалі кутів $25 - 85^\circ$, використовуючи метод лагового сканування, при кроці сканування $0,05^\circ$ і часі експозиції в точці 5-9 секунд. Зйомку вели на шкалах 200 - 1000 імпульсів / секунду зі швидкістю обертання лічильника 2° /хвилину при швидкості руху діаграмної стрічки 1200 мм / годину з відміткою кутів через один градус[24].

2.5 Рентгеноспектральний аналіз

Метод рентгеноспектрального аналізу застосовується для визначення хімічного складу. Він полягає в тому, що потік електронів потрапляючи на поверхню зразка взаємодіє з його атомами, при цьому генерується рентгеновське випромінювання. Вимірюючи довжини хвилі і інтенсивність випромінювання можна визначити які елементи присутні в зразку та яка їх концентрація.

Рентгеноспектральний мікроаналіз аналіз використовується для дослідження розподілу компонентів в сталях і сплавах, при цьому забезпечується локальність порядку 1-2 мікрометрів. Цим методом визначають хімічний склад мікрообластей на металографічному шліфі. Інформація такого роду необхідна при вивченні дендритної ліквідації, дифузії, ідентифікації включень і фазових складових в сплавах[24].



Рисунок 2.8 – Електронно зондовий рентгеновський мікроаналізатор Cameca SX-50

Висновки

Раціональний вибір методів дослідження обумовлений необхідністю отримання як найповнішої картини про властивості матеріалу вцілому так і отриманих покриттів. При цьому також потрібно враховувати економічну доцільність проведення тих чи інших випробувань.

Для дифузійних покриттів найбільш характерними є методи визначення твердості (мікротвердості), а також хімічного і фазового складу.

Застосування сучасного обладнання дає змогу інтенсифікувати процес досліджень та отримати найбільш достовірні результати. Комплексне застосування різноманітних методів досліджень дозволяє більш повно встановити взаємозв'язок механічних (експлуатаційних) властивостей зі змінами у технологічному процесі. Прослідити як саме зміна того чи іншого параметру впливає на зміни у покритті.

На етапі попередньої термічної обробки застосовувались такі методи дослідження як вимірювання твердості за методом Брінелля та Роквелла. У нашому конкретному випадку метод Брінелля, при використанні кульки 10 мм не можна застосувати, оскільки розміри зразків приблизно такі ж як і розміри кульки. За відсутності менших інденторів для методу Брінелля, застосували вимірювання твердості за Роквеллом HRB.

Після нанесення покриття, провели металографічний аналіз з вимірюванням мікротвердості покриттів. Також хімічний аналіз, який підтвердив наявність на поверхні зразка високої концентрації хрому, що притаманно для карбідних хромових покриттів.

Після завершального етапу термічної обробки вимірювали твердість за Роквеллом HRC та проводили мікроструктурний аналіз.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Фазовий склад покриттів

В результаті титанування сталей 45 та У8А утворюються одношарові покриття карбиду титану TiC з періодом ґратки 0,4329 нм та 0,4332 нм відповідно.

На низьковуглецевих сталях з вмістом вуглецю 0,2-0,3%(мас.) період кристалічної ґратки карбиду титану становить 0.4320нм. Очевидно вміст вуглецю в основі певною мірою впливає на вміст вуглецю та параметри кристалічної ґратки карбідної фази. Це пов'язано із широким інтервалом вмісту вуглецю в області гомогенності в карбіді титану (рис. 3.1).

Як видно з діаграми стану, в карбіді TiC може міститись приблизно від 39 до 49% (ат.) вуглецю.

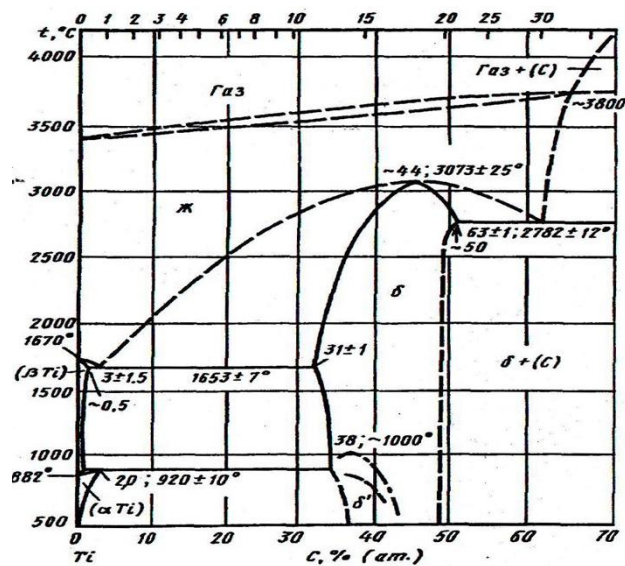


Рис. 3.1. Діаграма стану титан-вуглець [95].

У відповідності до відомих уявлень, період кристалічної ґратки карбиду титану може змінюватися в широких межах. Так, для сполуки $TiCo_{0,3}$ період кристалічної ґратки, може становити 0,4293 нм, а для сполуки $TiCo_{0,8}$ - 0,4332 нм.

Результати рентгеноструктурного аналізу (рис. 3.2) сплаву ВК8 після титанування показали, що на твердих сплавах також формується покриття на основі карбиду титану.

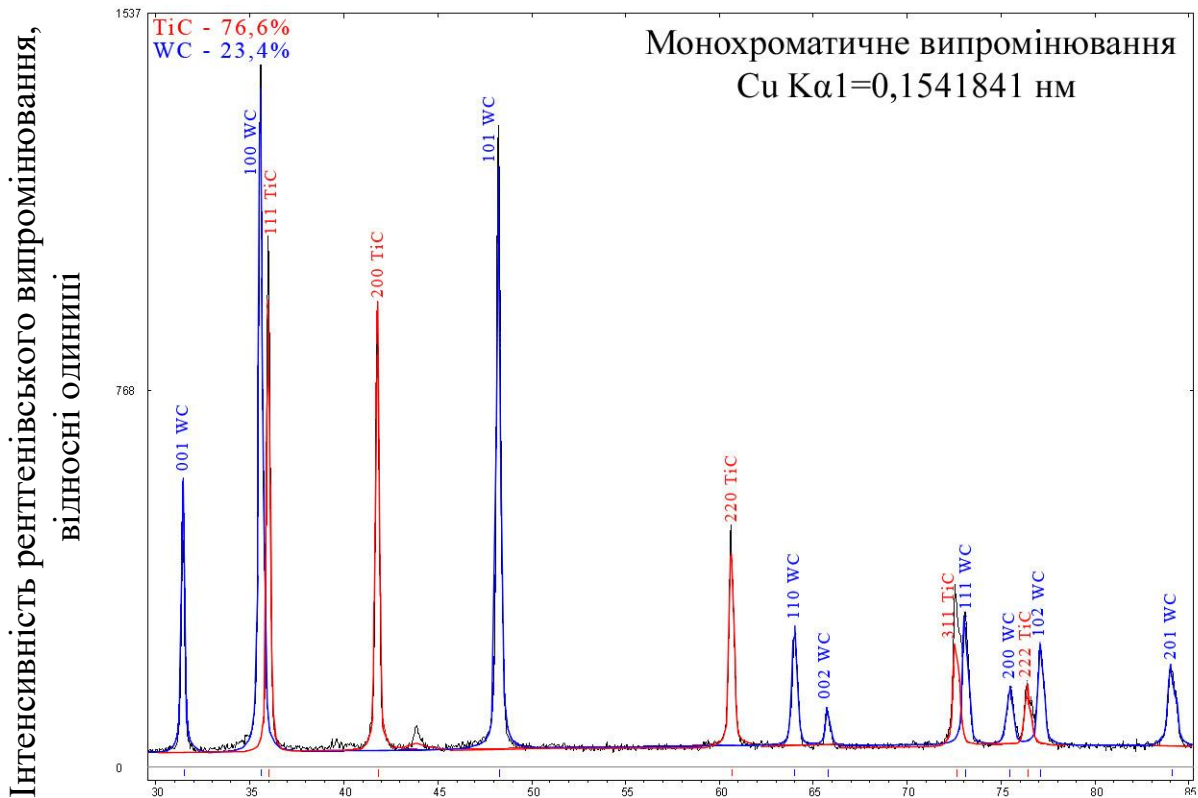


Рис. 3.2. Дифрактограма поверхні твердого сплаву ВК8 після титанування; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2\text{год}$.

Параметри кристалічної ґратки TiC на ВК8 складають 0,4315нм, а на Т15К6 0,4318нм. Також в деяких випадках при тривалому насиченні (при температурі 1050°C , та часу насичення більше 3 годин) над шаром TiC формується шар інтерметаліду CoTi. Очевидно це відбувається внаслідок недостатньої кількості вуглецю на кінцевому етапі формування карбідного покриття. В свою чергу кобальт з основи через шар карбиду дифундує на поверхню, де і утворює інтерметалід. Про недостачу вуглецю, в цьому випадку, також свідчить зона $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, розташована безпосередньо під шаром TiC.

Таблиця 3.1

Фазовий склад покриттів на основі карбиду титану*

Матеріал	Фазовий склад	Період кристалічної ґратки, нм
Сталь 20	TiC	$a=0,4320$
Сталь 45	TiC	$a=0,4325$
У8А	TiC	$a=0,4329$

У12А	TiC	a=0,4332
X12M	TiC	a=0,4332
BK8	TiC	a=0,4315
T15K6	TiC	a=0,4318

*- час насичення 2 години, температура 1050°C

3.2. Хімічний склад покриттів

Після титанування на поверхні твердого сплаву T15K6 формується покриття, яке містить Co і Ti, що очевидно належить інтерметаліду CoTi (рис.3.3). Товщина цього шару інтерметаліду незначна і безпосередньо під ним розташована зона карбїду титану, про що свідчать інтенсивні піки ліній вуглецю і титану.

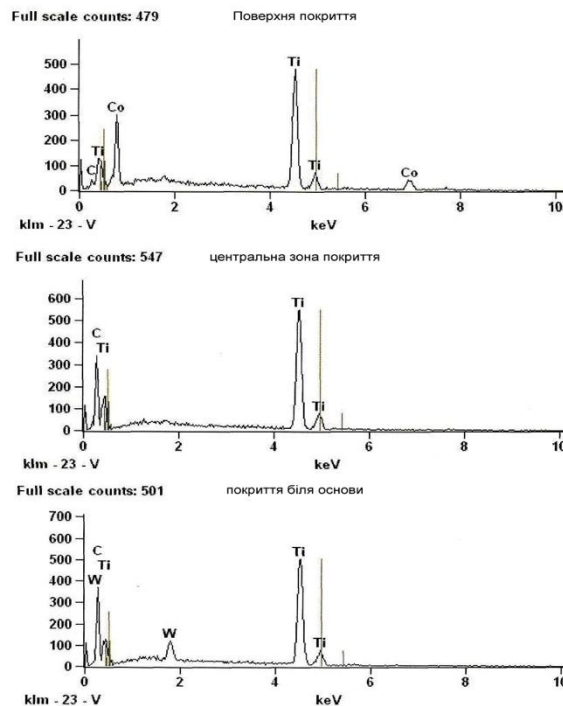


Рис. 3.3. Спектральні криві поверхневого шару сплаву T15K6 після титанування;

$T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3$ год.

а- поверхня покриття; б- центральна зона покриття; в- покриття біля основи.

За результатами мікрорентгеноспектрального та (рис. 3.4) показано, що на сталі У8А при титануванні формується покриття що повністю складається з карбїду титану.

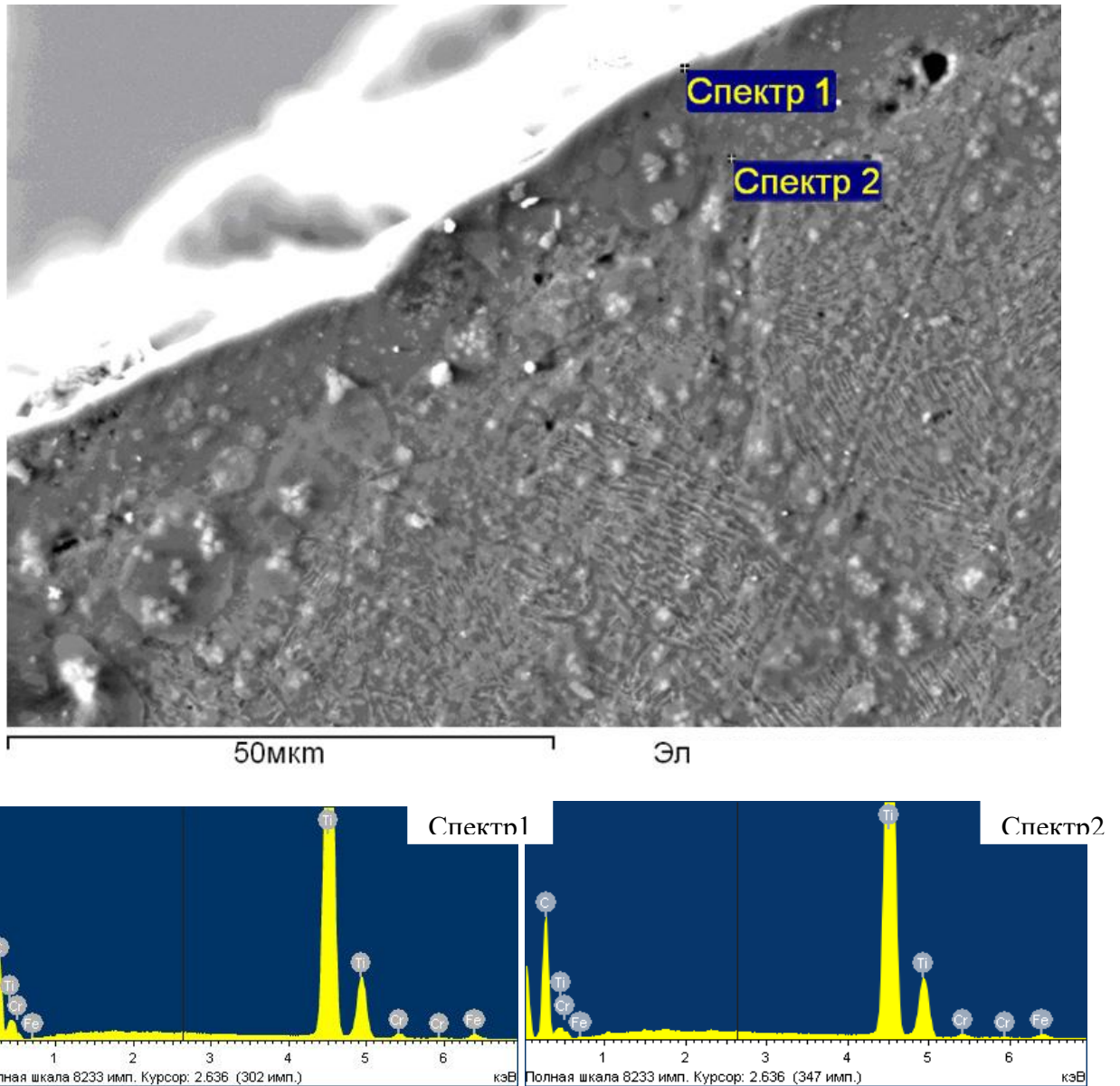


Рис. 3.4. Мікроструктура (у відбитих електронах) та спектральні криві поверхневого шару сталі У8А після титанування; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2$ год.

Відповідно отриманим даним в карбід з основи також дифундує незначна кількість хрому 0,15-0,25%(мас.) та заліза 1,0-1,31%(мас.). Вміст вуглецю по товщині шару змінюється в інтервалі 20,3%(мас.) біля основи до 18,1%(мас.) на поверхні покриття. Ці дані підтверджують те, що вуглець основи відіграє значну роль у формуванні покриття.

На сталі ШХ15 також формується покриття основними компонентами якого є вуглець та титан (рис. 5.5).

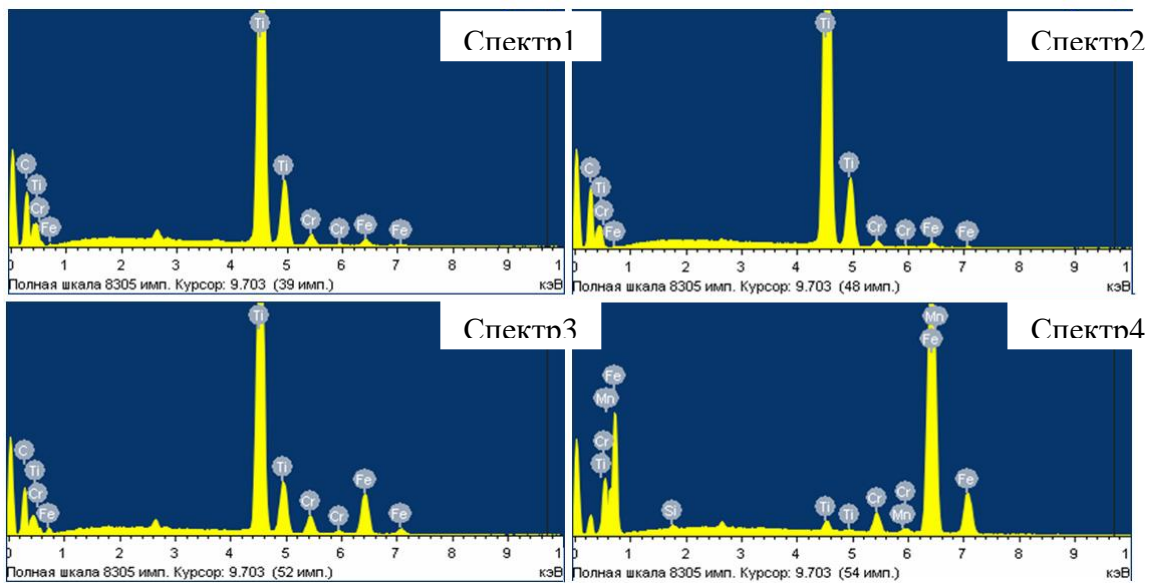
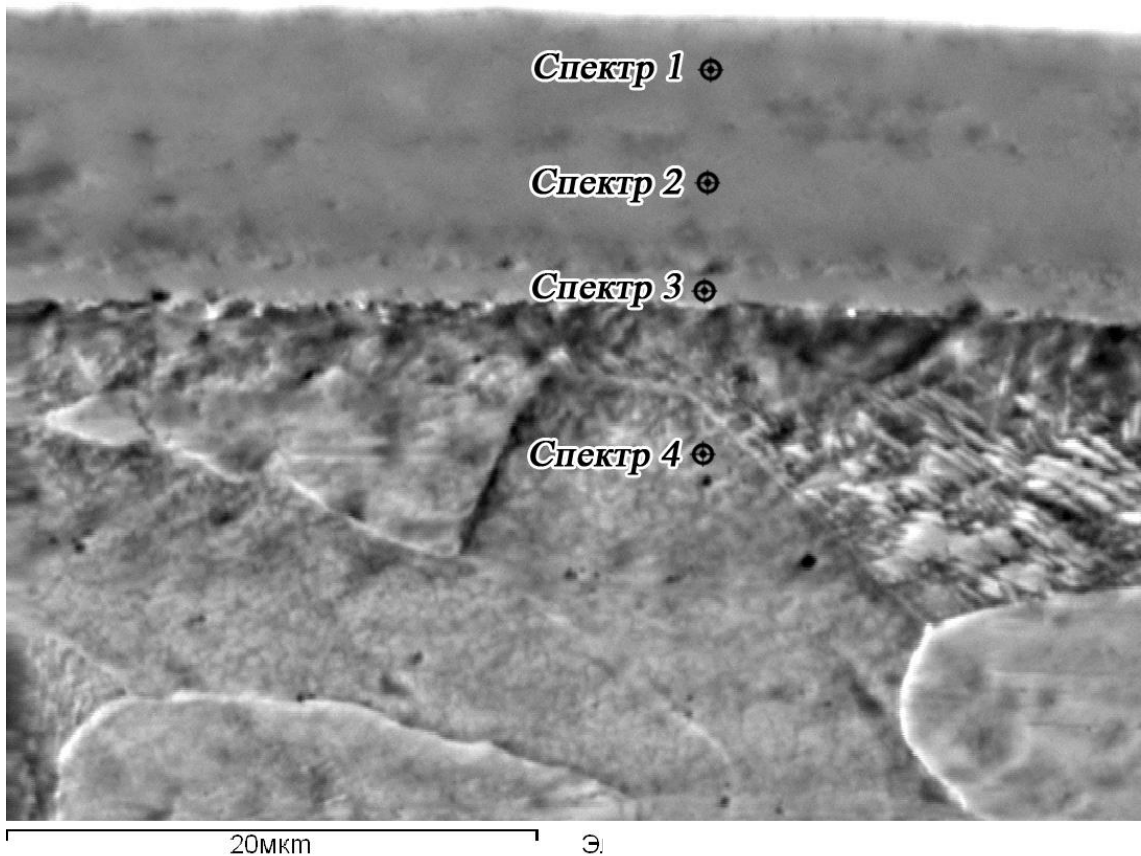


Рис. 3.5. Мікроструктура (у відбитих електронах) та спектральні криві поверхневого шару сталі ШХ15 після титанування; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2\text{ год}$.

3.3. Мікроструктура покриттів

Після титанування на полірованих шліфах після травлення спостерігається шар TiC світлого забарвлення (рис. 3.6) з чіткою границею розділу з основою.

Сформований шар відповідає карбїду титану TiC . Його товщина залежить від часу та температури насичення, а також вмісту вуглецю та легуючих елементів в матеріалі основи. На сталі 45, при насиченні протягом 2 годин і $T=1323K$, товщина покриття коливається в межах 8-11 мкм. В той же час, за ідентичних умов насичення, на сталі У8А товщина покриття складає 14-17 мкм. Під шаром карбїду титану на сталі 45 спостерігається зона перліту, що зумовлено підтягуванням вуглецю з основи.

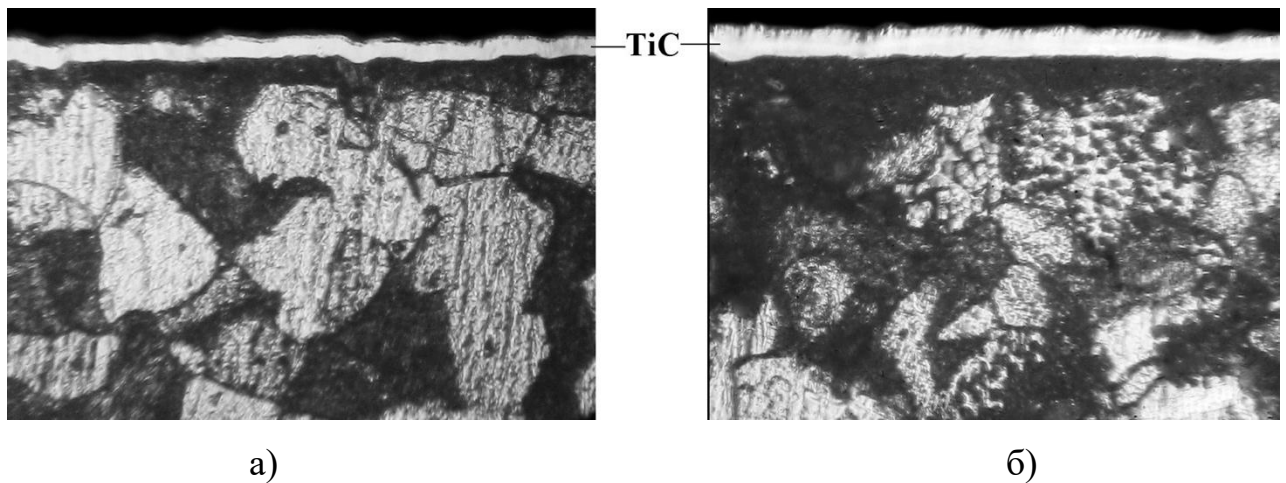


Рис. 3.6. Мікроструктура сталі 45 (а) та У8А (б) після титанування; $T=1050^{\circ}C$, $\tau=2$ год.; $\times 250$.

На твердому сплаві Т15К6 покриття має значно меншу товщину, порядку 3-5мкм. При збільшенні часу насичення з 2 до 3 годин загальна товщина шару збільшується, але відбувається утворення с поверхні інтерметалїду $CoTi$ (Рис. 3.7).

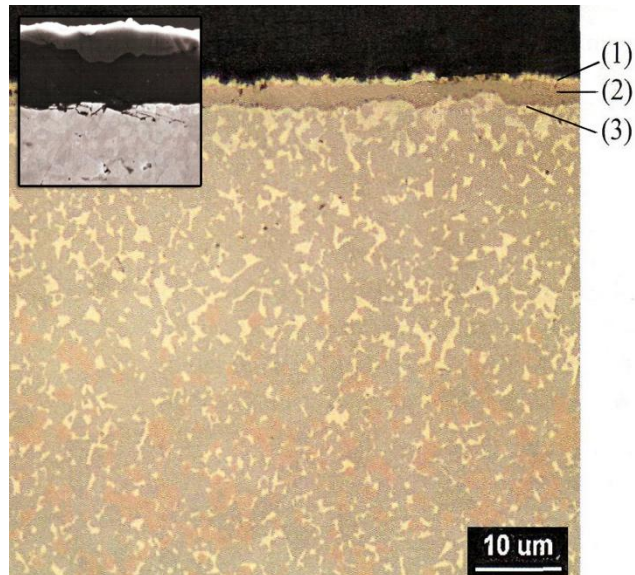


Рис. 3.7. Мікроструктура твердого сплаву Т15К6 після титанування;

$T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3\text{год.}$; $\times 250$:

- 1- інтерметалід CoTi ;
- 2- карбід титану TiC ;
- 3- карбід $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$.

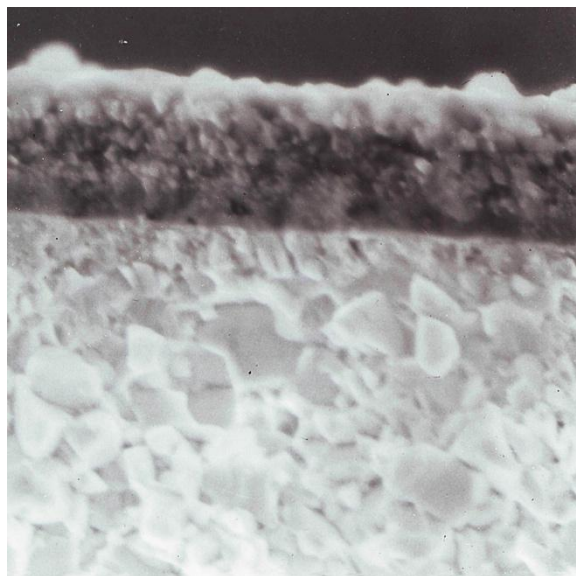


Рис. 3.8. Мікроструктура зламу твердого сплаву Т15К6 після титанування;

$T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2\text{год.}$; $\times 4000$.

Як видно з рисунку 3.8 в структурі після титанування протягом 2 годин не спостерігається утворення інтерметаліду та збідненої на вуглець підшарової зони, що позитивно впливає на властивості покриття.

Висновки

Технологія нанесення зносостійких покриттів порошковим методом дає змогу отримати якісні покриття які поступаються тим, що отримані газовим методом лише за стабільністю товщини по поверхні.

Візуально всі покриття виявляються у вигляді світлої тонкої смуги, що прилягає безпосередньо до матеріалу основи.

Після титанування на полірованих шліфах після травлення спостерігається шар TiC світлого забарвлення з чіткою границею розділу з основою.

Сформований шар відповідає карбиду титану TiC . Його товщина залежить від часу та температури насичення, а також вмісту вуглецю та легуючих елементів в матеріалі основи. На сталі 45, при насиченні протягом 2 годин і $T=1323K$, товщина покриття коливається в межах 8-11 мкм. В той же час, за ідентичних умов насичення, на сталі У8А товщина покриття складає 14-17 мкм. Під шаром карбиду титану на сталі 45 спостерігається зона перліту, що зумовлено підтягуванням вуглецю з основи.

На твердому сплаві Т15К6 покриття має значно меншу товщину, порядку 3-5мкм. При збільшенні часу насичення з 2 до 3 годин загальна товщина шару збільшується, але відбувається утворення с поверхні інтерметаліду $CoTi$.

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 [23].



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[23].

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. [23].

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 — мастило, 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. [23].

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: [23].

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;

третья — 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. [23].

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:

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

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 багатостатне обслуговування (приймаємо $K_2 = 1,4$);

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

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

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Титанування 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.

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

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{год} \cdot 100} \quad (4.3)$$

де, S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.; Піч для титанування та пристосування $\sim 100\ 000$ 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.)

Титанування зразків дифузійним методом:

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

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

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

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

Титанування зразків дифузійним методом:

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

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

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

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_{um} – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

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

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

Титанування зразків дифузійним методом:

$$B_E = [0,4 \cdot 40 \cdot (360 - 0,15) + 0,8 \cdot 40 \cdot 0,15] \cdot (2/60) = 190 \text{ (грн.)}$$

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

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

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

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

N_{pic} – річна програма деталей, шт.

Для дифузійного титанування 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 титану 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:

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

де, $S_{\text{пл}}$ – площа, безпосередньо, яку займає одиниця обладнання, м²;

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.);

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

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, грн.

Найменування елементів витрат	Титанування
Основна і додаткова заробітна плата робітника за рік (Z_p)	11 400
Амортизаційні відрахування по обладнанню (A_0)	6 000
Витрати на ремонт обладнання (B_p)	9 000
Витрати на силову електроенергію (B_E)	190
Витрати на допоміжні матеріали (B_m)	14
Витрати на утримання виробничої площі ($P_{\text{утр}}$)	4,5
Загальна сума	26 608

Висновки

За отриманими розрахунками щодо нанесення дифузійних покриттів на дослідних зразках можна побачити, що титанування це не дешевий процес. Але зносостійкість, а відповідно і термін служби деталей з титануванням у 2-3 рази більше.

У даному випадку підвищення собівартості є обґрунтованим, оскільки збільшення витрат спостерігається на початковому етапі підготовки технологічного процесу.

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

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Загальна характеристика термічної ділянки

Санітарно-гігієнічні умови праці в термічних цехах характеризуються наявністю в повітрі виробничого приміщення шкідливих токсичних речовин. Виділення токсичних газів при спалюванні 1 г природного газу і 2,2 - 5,2г SO₂ при спалюванні 1 г мазуту. При спалюванні 1 м³ природного газу утворюється NO - 0,21 г, NO₂ - 0,21 г, при спалюванні 1 кг мазуту CO - 58 г, NO - 0,33 г, NO₂ - 0,33 г, SO₂ - 0,714 г. У цех потрапляє до 10% загальної кількості шкідливих речовин, що виділяються при згоранні палива [28].

Термічні цехи характеризуються значними виділеннями теплоти, яка передається випромінюванням і конвекцією. Інтенсивність теплового потоку у нагрівальних печей, складає 1,4-2,1 кВт/м², у місцях складування заготовок, пультів управління і кабін кранівників -1-1,95 кВт/м², у місцях складування виробів після кування - 0,5-1 кВт/м²; на робочих місцях при нагріві металу на високочастотних установках - 0,24-0,3 кВт/м²; виділення теплоти від електropечей - до 2,2 МДж/год на 1 кВт потужності печі [28].

Небезпека поразки електричним струмом виникає при використанні печей опору для нагріву заготовок.

Існує небезпека виникнення пожеж при пуску газових нагрівальних печей унаслідок неправильного запалення, при раптовій зупинці дуття, просочуванні газу у виробниче приміщення, а також при підсосі повітря всередину газових пристроїв може відбутися вибух. Щоб уникнути вибуху газові дроти виготовляють з труб, що сполучаються зваркою, при цьому не використовують різьбові і фланцеві з'єднання [29].

Цехову газопровідну мережу обладнують перекриваючими і вимикаючими пристроями, регуляторами тиску і продувними свічками.

У майстерні по приготуванню технологічних змащувальних матеріалів, де використовують горючі матеріали (газ, масла, спирти і ін.), щоб уникнути вибуху встановлюють вибухобезпечне електроустаткування і приточно-витяжну вентиляцію, щоб не допустити утворення в повітрі вибухонебезпечних концентрацій. [28].

Звичайно причинами травмування працюючих на верстатах є:

- поломка задньої або передньої бабки, або інших складових частин верстата унаслідок його неправильної експлуатації;
- застосування неправильних прийомів роботи при витягненні заготівки, з патрона;
- неправильні прийоми роботи на під'ємно-транспортних механізмах, відсутність безпечних проходів, проїздів і т.д.
- невідповідність одягу робітника нормам безпеки;

Для проведення технологічного процесу на ділянці передбачено устаткування: токарні верстати, камерні і вакуумні печі, гартівні баки з машинним маслом і водою. [29].

5.2 Техніка безпеки при роботі на електричних печах

Перед початком роботи необхідно правильно організувати своє робоче місце.

Утримувати робоче місце в чистоті і порядку, не захарашувати його сторонніми предметами. Тримати на робочому місці тільки той інструмент і ті прилади, які дійсно необхідні.

Утримувати одяг в охайному стані. Всі гудзики халатів повинні бути застебнуті так, щоб халат не розвіювався і не заважав працювати на електровакуумних установках.

Стежити за тим, щоб всі форвакуумні насоси були встановлені у звукоізольовані ящики або закриті огороженням з метою недопущення попадання рук, одягу і проводів під ремінь шківа форвакуумного насоса.

Забезпечити вихід форнасосів у систему витяжної вентиляції. [29].

При роботі з рідким азотом не допускається попадання його на незахищені частини тіла і змочування тіла рідким азотом. Приступаючи до роботи, перевірити не тільки справність установки, але і всі пристрої, що відносяться до неї: ланцюг живлення, високовольтну і низьковольтну проводку, заземлення, огороження, блокувальну сигналізацію і ін. [29].

У випадку відсутності напруги живлення на клеймах загальних щитів при включенні вимикача - викликати електрика для з'ясування причини відсутності напруги. Стежити за тим, щоб навколо високовольтних установок були вільні проходи шириною передбаченою правилами, а також огороження, що перешкоджають потраплянню персоналу в небезпечну зону.

Не доторкатися до відкритих струмоведучих частин і стежити за надійністю підключення до заземлюючого проводу [29].

5.3 Аналіз потенційних шкідливих факторів на проектованій ділянці

- великий рівень електромагнітних випромінювань;
- велика або понижена рухливість повітря;
- підвищена температура поверхні устаткування і матеріалів;
- небезпека контакту з електрикою;

Заходи щодо зниження небезпечних і шкідливих чинників:

- приміщення ділянки, устаткування і комунікації повинні бути оснащені контрольно-вимірювальними приладами;

- у місцях можливої локалізації дії небезпечних і шкідливих чинників повинні бути встановлені швидкодійні відсікаючі пристосування;

- приміщення паяльної ділянки повинне бути обладнане приточно-втяжною вентиляцією;

- при роботі з установками електрохвильового випромінювання необхідно застосовувати заходи по електробезпеці і захисту від довгохвильових випромінювань. [28].

5.4 Заходи щодо забезпечення безпеки праці

Згідно ГОСТ 12.2.005 – 91 Устаткування виробниче [29]. Загальні вимоги безпеки.

1. Виробниче устаткування повинне забезпечувати безпеку працюючих при монтажі (демонтажі), введенні в експлуатацію і експлуатації як у разі автономного використання, так і у складі технологічних комплексів при дотриманні вимог, передбачених експлуатаційною документацією. Експлуатація включає в загальному випадку використання за призначенням, технічне обслуговування і ремонт, транспортування, зберігання. [29].

2. Безпека конструкції виробничого устаткування забезпечується:

1) вибором принципів дії і конструктивних рішень, джерел енергії і характеристик енергоносіїв, параметрів робочих процесів, системи управління і її елементів;

2) мінімізацією споживаної і накопичуваної енергії при функціонуванні устаткування;

3) вибором комплектуючих виробів і матеріалів для виготовлення конструкцій, а також вживаних при експлуатації;

4) вибором технологічних процесів виготовлення;

5) застосуванням вбудованих в конструкцію засобів - захисту працюючих, а також засобів інформації, застережуючих про виникнення небезпечних (зокрема пожежовибухонебезпечних) ситуацій, надійністю конструкції і її елементів;

6) застосуванням засобів механізації, автоматизації, дистанційного керування і контролю;

7) можливістю використання засобів захисту, що не входять в конструкцію;

8) виконанням ергономічних вимог;

9) обмеженням фізичних і нервопсихічних навантажень на працюючих.

3. Вимоги безпеки до виробничого устаткування конкретних груп, видів, моделей встановлюються на основі вимог ГОСТ 12.2.003-91 [22] з обліком:

1) особливостей призначення, виконання і умов експлуатації;

- 2) результатів випробувань, а також аналізу небезпечних ситуацій (зокрема пожежовибухонебезпечних), що мали місце при експлуатації аналогічного устаткування;
- 3) вимог стандартів, що встановлюють допустимі значення небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- 4) науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, а також аналізу засобів і методів забезпечення безпеки на кращих світових аналогах;
- 5) вимог безпеки, встановлених міжнародними, регіональними стандартами і іншими документами до аналогічних груп, видів, моделей виробничого устаткування [28].

5.5 Екологізація виробництва

Велика кількість енергії, споживаної нагрівальними термічними установками і пристроями, перетворюється в теплоту і розсіюється в біосфері у вигляді втрат або при охолодженні нагрітих виробів. Для зменшення даремного розсіювання теплоти необхідно поліпшити теплоізоляцію і скоротити всі види втрат, використати для технологічних цілей або побутових потреб теплоту газів, що відходять, і охолоджуючої води. [29].

Найпоширенішими і небезпечними забруднювачами навколишнього середовища є: Оксид вуглецю(CO), або чадний газ, не має кольору і запаху, виходить в результаті неповного згорання кам'яного вугілля, природного газу, деревини, нафти, бензину. Якщо в повітрі знаходиться до 1% CO , то це вже негативно впливає на біоту, а до 4% CO , для багатьох видів є летальною дозою. Оксиди азоту(NO , NO_2 , N_2O), що в 10 разів більш небезпечні для людини, ніж CO , викидаються в повітря переважно підприємствами, які виробляють азотну кислоту і нітриди, анілінові фарбники, целулоїд, віскозний шовк і паливними агрегатами ТЕС і ТЕЦ, металургійними заводами і сприяють утворенню кислотних дощів. [28].

Аміак (NH_3), що застосовується для виробництва, зокрема азотної кислоти, подразнює дихальні шляхи людей і тварин.

Діоксид сіри (SO_2), або сірчистий газ, виділяється під час згорання палива з домішками сірки (вугілля, нафта), переробки сірчаних руд, виплавці металів.

Тріоксид сіри (SO_3), виходить унаслідок окислення SO_2 в атмосфері під час фотохімічних і каталітичних реакцій і є аерозолем або розчином сірчаної кислоти в дощовій воді, яка окисляє ґрунти, підсилює корозію металів, руйнування гуми, мармуру і сприяє загостренню захворювань легень і дихальних шляхів. [28].

Для зменшення забрудненості атмосфери шкідливими речовинами встановлюють системи газоуловлювача і газового очищення, використовують гази, що містять СО і вуглеводні, для технологічних цілей, регулюють склад атмосфери (електропечі опору з контрольованою атмосферою і ін.), замінюють процеси з великим газовиділенням. Очищення газів проходить адсорбційними і каталітичними методами адсорбції. [29].

Разом з газами, паливом і при супутніх термообробці процесах в атмосферу несеться значна кількість пилу. Для зменшення забруднення атмосферного повітря (особливо при викиді промислових газів, що відходять), для технологічної підготовки газів і витягання з газів корисних матеріалів проводиться пиловловлювання за допомогою пиловловлювачів, вбудованих в основне устаткування або виносних.

Електротермічне устаткування є крупним споживачем води, що витрачається для охолодження елементів печей і пристроїв. До води пред'являються високі вимоги.

Особливу увагу треба звертати на очищення стічних вод, в яких можуть знаходитися ціаністи з'єднання або інші отруйні речовини. Для знешкодження ціановмісних стічних вод рекомендується використовувати луг (вапняне молоко) і хлорвмісні компоненти (рідкий хлор, гіпохлорит натрію, гіпохлорит кальцію, хлорне вапно і ін.). Кількість луку повинна забезпечувати підтримку рН (водневий показник) стічних вод в межах 10,5 – 11,0. Дозу активного хлора приймають рівним 3,5 частинам по масі на 1 частину ціану. Потім ціановмісні води перед відстійниками підкислюють до нейтрального середовища. Для очищення від ціанидів можливе також застосування марганцевокислого калія і

перекису водню. При значних концентраціях ціанід-іонів (наприклад, стічні води ділянок ціанування) доцільне застосування електрохімічного очищення. [29].

5.6 Забезпечення приточної вентиляції

Приточна вентиляція здійснюється у вигляді повітряних оазисів, повітряних завіс і повітряних душів. Повітряний оазис призначений для створення заданих метеорологічних умов в окремих зонах робочих приміщень з високою температурою повітря. Робочий майданчик з усіх боків захищають на висоту 2м і у відгороджений простір через розподільники повітря подають малими швидкостями (0,2-0,4 м/с) охолоджене повітря. [28].

Повітряні завіси створюють шляхом подачі повітря через розподільники повітря з підлоги від низу до верху або від стін збоку. Повітряні завіси використовують для попередження проникнення забрудненого повітря з сусідніх відділень цеху, а також в отворах між опалювальними і неопалювальними приміщеннями і в інших випадках. [29].

Для попередження проникнення в приміщення зовнішнього холодного повітря влаштовують повітряно-теплові завіси, для чого в отвори воріт під кутом до потоку поступаючого до приміщення холодного зовнішнього повітря подають струмінь підігрітого (до 70 °С) повітря зі швидкістю до 12 м/с; в результаті на великій відстані від входу (до 20 м) створюється підвищений тиск теплого повітря. [29].

Повітряні душі. В гарячих цехах місцева приточна вентиляція широко використовується для створення обдуваючого потоку повітря заданих кліматичних параметрів, направленою на робоче місце.

При розрахунку повітряного душу встановлюють параметри, при яких на певному майданчику, на відому відстань від місця подачі струменя приточного повітря, в поперечному перетині струменя будуть створені задані температура і рухливість повітря, а якщо необхідно, то і вологість його. [29].

Повітряні душі можна застосовувати, якщо немає перешкод для розповсюдження повітряного струменя і не збільшується забруднення повітря на робочих майданчиках при його перемішуванні.

На фіксовані робочі місця (в кабіни кранів, пульти управління) повітря рекомендується подавати через розподільники повітря над головою оператора – при спадаючому потоці досягається якнайкращий ефект обдування.

При виконанні ручних операцій з великою фізичною напругою, а також при великій інтенсивності випромінювання потрібна висока швидкість обдуваючого повітря – приблизно 5 м/с. Більша ніж 5 м/с швидкість викликає неприємні відчуття (шум у вухах і ін.). [29].

Ширина душового струменя на робочому місці 0,8-1,0м (крім випадків, коли робочі майданчики великі).

Охолоджуюча дія обдуваючого повітря позначається перш за все на відкритих ділянках тіла; крім того, охолоджується поверхня одягу і посилюється повітрообмін піддежного шару. Найбільший ефект охолодження досягається при обдуванні опромінюваної ділянки тіла.

Структура струменя також впливає на ефективність обдування. “Закручений” потік (наприклад, створений осьовим вентилятором) більш ефективний, ніж “розкручений” (наприклад, створений циліндровою насадкою).

Слід уникати напрямку струменя обдуваючого повітря від печі до робочого місця, оскільки при цьому відбувається задування гарячого повітря і газів на працюючого. [29].

Застосовують повітряні душі стаціонарні і пересувні.

Стаціонарними повітряними душами є загальний воздуховід з приточними насадками, які направляють струмінь повітря на робочі місця.

Повітряні душі влаштовують із забором зовнішнього повітря або з рециркуляцією (повною або частковою) повітря приміщення.

Установлення стаціонарних повітряних душів важко через великі габарити системи повітропроводів, необхідності їх теплоізоляції, великої витрати енергії на подачу повітря і ін.

Пересувні повітряні душі використовують зовнішнє повітря або повітря приміщень.

Установки місцевої притоки подають повітря в об'ємі до 5000 м³/ч на окремі робочі місця або обмежені робочі майданчики. Установкою зосередженої подачі направляють великі об'єми повітря на робочу ділянку, на якій знаходяться декілька чоловік. [29].

Висновки

Охорона праці вважає людину головною цінністю у виробництві, оскільки безпека та здоров'я працівників є ключовими для оптимізації виробничого процесу. Вона не дозволяє ставити людське життя на кон на користь високої оплати чи продуктивності. Ефективна система охорони праці виховує дисципліну у працівника, що призводить до підвищення продуктивності та ефективності роботи.

Охорона праці орієнтована не лише на безпеку на робочому місці, а й на запобігання захворюванням, організацію харчування та відпочинку працівників, надання спеціального одягу та засобів гігієни. Вона також несе відповідальність за забезпечення власника підприємства соціальними гарантіями й пільгами.

ВИСНОВКИ

1. На основі критичного аналізу літературних даних щодо переваг та недоліків відомих методів з нанесення захисних покриттів на поверхню виробів можна зробити висновок про перспективність застосування дифузійної металізації для підвищення експлуатаційних властивостей як деталей машинобудування так і інструменту. Дифузійне титанування є одним із перспективних методів підвищення поверхневої твердості та зносостійкості деталей та інструменту про що свідчать дані патентного пошуку.

2. Розглянуто методику та матеріали для досліджень. У якості предмета дослідження виступають фазовий, хімічний склад, структура, механічні та експлуатаційні властивості багат шарових дифузійних покриттів на сталях і твердих сплавах.

Раціональний вибір методів дослідження обумовлений необхідністю отримання як найповнішої картини про властивості матеріалу в цілому так і отриманих покриттів. При цьому також потрібно враховувати економічну доцільність проведення тих чи інших випробувань.

3. Розглянуто вплив режимів дифузійного титанування на структуроутворення покриттів на сталях та твердих сплавах.

Товщина шару карбиду титану залежить від часу та температури насичення, а також вмісту вуглецю та легуючих елементів в матеріалі основи. На сталі 45, при насиченні протягом 2 годин і $T=1323\text{K}$, товщина покриття коливається в межах 8-11 мкм. В той же час, за ідентичних умов насичення, на сталі У8А товщина покриття складає 14-17 мкм. На твердому сплаві Т15К6 покриття має значно меншу товщину, порядку 3-5 мкм.

4. З точки зору економічної ефективності, застосування захисних покриттів призводить до підвищення вартості технологічного процесу, але в той же час термін служби деталей та інструменту з титановими дифузійними покриттями зростає у 2-3 рази. Тому технологію дифузійного титанування можна ефективно впроваджувати у виробництво.

5. В усіх цехах з термічної та хіміко-термічної обробки повинні виконуватися нормативи безпеки життєдіяльності і використовуватися санітарно-гігієнічні засоби та лікувально-профілактичні заходи захисту людини від несприятливого впливу пилу, нагрівання мікроклімату. При роботі з пилом і хімічними речовинами до таких засобів відносяться використання засобів індивідуального захисту.

ДЖЕРЕЛА

1. Диффузионные карбидные покрытия. В. Ф. Лоскутов, В. Г.Хижняк, Ю. А.Куницкий, М. В. Киндрачук. - К.: Техника, 1991. - 168 с.
2. 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>
3. 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.
4. 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
5. Болгар А.С., Турчанин А.Г., Фесенко В.В. Термодинамические свойства карбидов. — К.: Наук. думка, 1973. — 278 с.
6. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
7. Мацевитый В. М. Покрытия для режущих инструментов / В. М. Мацевитый. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 128 с.
8. Андриевский Р. А. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справочник / Р. А. Андриевский, И. И. Спивак. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 368 с.
9. Волін Е.М. Іонно-плазмові методи отримання зносостійких покриттів. Технологія легких сплавів.- № 10. – 1984.
10. Локтєв Д. Ю., Ямашкін Е. М. Методи та обладнання для нанесення зносостійких покриттів «наноіндустрії» №4.- 2007. -С. 18-24.

11. Довідник оператора установок з нанесення покриттів у вакуумі/А.І. Костржіцкій, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О. Н. Соловійова. - М.: Машинобудування, 1991. - 176 с.
12. Кудінов В.В., Бобров Г.В. Нанесення покриттів напиленням. Теорія технологія і устаткування. Підручник для вузів.- М.: Металургія, 1992. - 432с.
13. Анциферов В. Н., Бобров Г В., Дружинін Л. К. Порошкова металургія і напилені покриття. Підручник для вузів. М.: Металургія 1987. - 792 с.
14. Гірш В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Сучасні технології в порошкової металургії. СПб.: Изд-во політехн. Ун-ту, 2010. - 386с.
15. Самсонов Г.В., Борисова А.Л., Жидкова Т.Г. и др. Физико-химические свойства окислов. — М.: Металлур- гия, 1978. — 472 с.
16. Шровец С., Вербер Т. Современные жаростойкие ма- териалы. — М.: Металлургия, 1986. — 360 с.
17. Дегула А.І. Підвищення властивостей сталей і твердих сплавів нанесенням багат шарових карбідних та карбооксидних дифузійних покриттів на основі титану, ванадію і хрому: автореферат дисертації на здобуття вч. ст. канд. техн. наук: 05.16.01 - Київ 2010, -22с
18. <https://mfint.imp.kiev.ua/article/v37/i11/MFiNT.37.1461.pdf>
19. <https://uapatents.com/2-2947-sposib-nanesennya-pokrittiv.html>
20. А. Д. Погребняк, А. П. Шпак, Н. А. Азаренков, В. М. Береснев, Успехи физических наук, 179, No 1: 35 (2009).
21. 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.
22. Б. Н. Арзамасов, Металловедение и термическая обработка металлов, No 6: 3 (2004).
23. Рижков В.С. Економіка підприємства [Текст]: навч. пос. / В.С. Рижков, В.А. Панков, В.В. Ровенська. - Київ: Вид. "Слово". - 2014 р. -253 с.

24. Н. А. Азаренков, В. М. Береснев, А. Д. Погребняк, Структура и свойства защитных покрытий и модифицированных слоев материалов (Харьков: ХНУ им. В. Н. Каразина: 2007).
25. <https://uapatents.com/4-28335-sposib-nanesennya-karbonitridnikh-pokrittiv-na-stali-ta-tverdi-splavi.html>
26. <https://uapatents.com/4-7454-sposib-formuvannya-znosostijjkogo-pokrittva-na-poverkhni-virobu-z-konstrukcijno-stali.html>
27. <https://uapatents.com/3-30506-sposib-nanesennya-karbonitridnikh-difuzijnikh-pokrittiv-na-poverkhnyu-stalejj-ta-tverdikh-splaviv.html>
28. Минько В.М. Охрана труда в машиностроении: Учебник для студ. учреждений высшего. проф. образования / В.М. Минько. – М.: ИЦ Академия, 2012. – 256 с.
29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст]: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.