

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 структури, властивостей та характеристик сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки» _____

Здобувача групи _____ МТ.м-21/1 _____ Лихошви Дмитра Миколайовича _____

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

_____ Дмитро Лихошва

Керівник _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ,
к.т.н., доц. Надія Харченко _____

Нормоконтроль _____ доцент кафедри ПМ і ТКМ
к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

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

Завідувач кафедри
_____ Оксана ГАПОНОВА

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Лихошва Дмитро Миколайович

Тема проекту (роботи) «Дослідження структури, властивостей та характеристик сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки», затверджена наказом по університету від від “09” листопада 2023 р. № 1254-VI.

1. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) 15.12.2023 р. _____
2. Вихідні дані до проекту (роботи) структура та характеристик сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) аналіз джерел інформації: методика проведення експерименту, вибір матеріалів та обладнання; експериментальні дослідження: фазовий склад, структура, мікротвердість, мікрокрихкість карбідних покриттів на основі хрому; теоретичні відомості та методики розрахунку витрат, охорона праці та довцілля; техніки безпеки; загальні висновки по роботі.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Результати роботи та літературний огляд слід доповнювати рисунками і таблицями. Обов'язковими є таблиці з фізико-механічними властивостями матеріалів, макро- і мікроструктури, зображення основного і допоміжного обладнання, яке використовували під час проведення експериментів

5. Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що їх стосуються

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження	10.11.2023 р.	виконано
2	Загальна методика та основні методи дослідження	20.11.2023 р.	виконано
3	Експериментальні дослідження та загальні результати	10.12.2023 р.	виконано
4	Економічна частина	15.12.2023 р.	виконано
5	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	15.12.2023 р.	виконано

6. Дата видачі завдання 09.11.2023 р

Студент: _____ Лихошва Д. М.
(підпис)

Керівник: _____ Харченко Н. А.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Лихошва Дмитро Миколайович. Дослідження структури, властивостей та характеристик сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки. — Рукопис.

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

Робота присвячена дослідженню структури, властивостей та характеристик сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки.

За результатами проведених досліджень встановлено, що дифузійне хромування інструментальної сталі ХВГ є перспективним.

В роботі розглянуті основні сучасні методи дослідження, а саме рентгеноструктурний, металографічний аналіз та визначення мікротвердості та мікротвердості захисних покриттів. Запропонована хіміко-термічна обробка реалізується контактним методом при температурі 1100 °С впродовж 4 годин.

В результаті формується захисне тришарове покриття товщиною 20-25 мкм на поверхні утворився шар σ -фази, безпосередньо під шаром σ -фази розташовані ділянки карбідів хрому типу $Cr_{23}C_6$ в центральній зоні карбіду Cr_7C_3 , максимальна мікротвердість складає відповідно 17,2 ГПа.

Комплексний аналіз структури та властивостей сталі ХВГ після хромування надає можливість рекомендувати дану технологію обробки сталі ХВГ для впровадження в виробництво.

Ключові слова: СТАЛЬ, ХВГ. ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ, ХРОМУВАННЯ.

ABSTRACT

Lykhoshva Dmytro. Investigation of the Structure, Properties and Characteristics of XBF steel after Chemical Heat Treatment. – Manuscript.

Qualifying work for obtaining a master's degree in specialty 132 «Materials Science» — Sumy State University, Sumy, 2023.

The work is devoted to the study of the structure, properties and characteristics of XBF steel after chemical heat thermal treatment.

According to the results of the conducted research, it was established that diffusion chrome plating of tool steel of XBF is promising.

The paper examines the main modern methods of research, namely X-ray structural analysis, metallographic, durometric and determination of microhardness and microfragility of protective coatings. The proposed chemical thermal treatment is implemented by the contact method at a temperature of 1100 C for 4 hours.

As a result, a protective three-layer coating with a thickness of 20-25 microns is formed, a layer of σ -phase is formed on the surface, directly under the layer of σ -phase there are areas of chromium carbides of the Cr_{23}C_6 type in the central zone of Cr_7C_3 carbide, the maximum microhardness is 17.2 GPa, respectively.

A comprehensive analysis of the structure and properties of XBF steel after chrome plating makes it possible to recommend this XBF steel processing technology for implementation in production.

Keywords: STEEL, XBF. SURFACE STRENGTHENING, CHROMIZING.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує 80 сторінок, зокрема 5 таблиць, 13 рисунків, список із 51 використаного джерела.

Мета роботи – дослідження впливу хіміко-термічної обробки на структуру, мікротвердість, мікрокрихкість карбідних покриттів на сталі ХВГ.

Завдання дослідження: провести аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки (ХТО) легованої сталі, дослідити їх вплив на експлуатаційні властивості; реалізувати новий метод ХТО, визначити фазовий склад, мікроструктуру і товщину захисних покриттів; проаналізувати вплив хіміко-термічної обробки на мікротвердість, мікроміцність; на основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – дифузійні карбідні покриття на основі хрому на сталі ХВГ.

Предмет дослідження – фазовий склад, структура, мікротвердість, мікрокрихкість карбідних покриттів на основі хрому.

Методи досліджень – металографічний аналіз, рентгеноструктурний аналіз, дюрOMETричний, вимірювання мікрокрихкості карбідних покриттів методом кінетичної мікротвердості.

Наукова новизна. Вперше встановлено, що дифузійне хромування сталі ХВГ призводить до формування захисного покриття товщиною 20-25 мкм. Максимальна мікротвердість становить 17,2 ГПа.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Загальна характеристика поверхневого зміцнення сталей	11
1.2 Вимоги, щодо матеріалу основи для хромування.....	14
1.3 Номенклатура матеріалів основи для хромування	15
1.4 Аналіз методу хромування	16
Висновки	23
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
2.1 Матеріали дослідження	25
2.2 Метод нанесення карбідних покриттів	26
2.3 Класифікація методів дослідження	29
2.4 Рентгеноструктурний аналіз	30
2.5 Металографічний аналіз	34
2.6 Визначення мікротвердості.....	37
2.7 Визначення тріщиностійкості	39
Висновки	44
РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	45
3.1 Фазовий склад покриттів	45
3.2 Мікроструктура покриттів.....	47
3.3 Мікротвердість	50
3.4 Параметри тріщиностійкості карбідних покриттів.....	52

Висновок.....	57
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
4.1 Методика економічної доцільності кваліфікаційної роботи	58
4.2 Розрахунок показників економічної ефективності	59
4.3 Розрахунок економічної вигоди проекту	62
Висновки	69
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	70
5.1 Загальні вимоги	70
5.2 Вимоги при виробничому процесі.....	71
5.3 Заходи з охорони довкілля	77
Висновки	79
ВИСНОВКИ	80
Список використаної літератури	81

ВСТУП

В сучасному промисловому виробництві велика увага приділяється питанням захисту металевих конструкцій від корозії, зносу та впливу високих температур. Одним із ефективних методів покращення властивостей металів є хромування, яке полягає в нанесенні тонкого хромового покриття на поверхню металу. Хромування сталей в сучасному світі стає невід'ємною складовою технологічного прогресу та забезпечення високих стандартів якості виробів, що застосовуються в різноманітних галузях промисловості. Здатність сталевих виробів протистояти корозії, зносу та іншим негативним факторам набуває особливого значення в умовах постійного розвитку технологій та зростання вимог до тривалості їх служби. Хромування сталей є ефективним методом підвищення їхньої стійкості до агресивних середовищ та одночасно відкриває безліч можливостей для досягнення високих технічних і експлуатаційних характеристик. У цьому контексті важливо розглядати не лише технологічні аспекти хромування, але і економічну доцільність цього процесу в умовах сучасного ринку та вимог екологічної безпеки. Детальний аналіз актуальності та переваг хромування сталей стане важливим внеском у розуміння цього процесу та його потенційних переваг для різних секторів промисловості.

Мета роботи – дослідження впливу хіміко-термічної обробки на структуру, мікротвердість, мікрокрихкість хромових карбідних покриттів на сталі ХВГ.

Завдання дослідження: провести аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки (ХТО) легованої сталі, дослідити їх вплив на експлуатаційні властивості; реалізувати новий метод ХТО, визначити фазовий склад, мікроструктуру і товщину захисних покриттів; проаналізувати вплив хіміко-термічної обробки на мікротвердість, мікроміцність; на основі отриманих результатів зробити висновки та рекомендації.

Об'єкт дослідження – дифузійні карбідні покриття на основі хрому на сталі ХВГ.

Предмет дослідження – фазовий склад, структура, мікротвердість, мікрокрихкість, карбідних покриттів на основі хрому.

Методи досліджень – металографічний аналіз, рентгеноструктурний аналіз, дюрOMETричний, вимірювання мікрокрихкості карбідних покриттів методом кінетичної мікротвердості.

Наукова новизна. Вперше встановлено, що дифузійне хромування сталі ХВГ призводить до формування захисного покриття товщиною 20-25 мкм. Максимальна мікротвердість становить 17,2 ГПа.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальна характеристика поверхневого зміцнення сталей

Поверхнєве зміцнення сталей є ключовим аспектом їх застосування в сучасному виробництві, оскільки це безпосередньо впливає на тривалість служби та функціональні характеристики. Розмаїття методів поверхневого зміцнення розвивається швидкими темпами, враховуючи сучасні вимоги до матеріалів у різних галузях. Нинішні дослідження фокусуються на вдосконаленні інноваційних та традиційних методів для досягнення максимальної ефективності та відповідності високим стандартам якості [1].

1.1.1 Лазерна обробка поверхні

Лазерна обробка поверхні є одним із передових методів, що надає можливість точного та контрольованого впливу на структуру матеріалу. Застосування лазерів дозволяє змінювати мікроструктуру поверхні, поліпшуючи твердість та зносостійкість. Детальне вивчення параметрів лазерної обробки та її впливу на властивості сталей має стратегічне значення для розробки нових матеріалів з підвищеними характеристиками [1].

1.1.2 Хімічне осадження та імпульсне плазмове азотування

Хімічне осадження та імпульсне плазмове азотування представляють собою ефективні методи вдосконалення поверхневого шару матеріалу. Вони забезпечують утворення азотовмісних фаз, що покращує твердість та стійкість до корозії. Дослідження параметрів процесу та впливу хімічних факторів на результати поверхневого азотування є актуальним завданням для оптимізації цього методу.

1.1.3 Плазмове напилення

Плазмове напилення є важливим методом для створення покриттів з високою адгезією та механічною міцністю. Застосування різних матеріалів у процесі напилення дозволяє отримати покриття з різними властивостями, що розширює можливості використання матеріалів у різних галузях [2].

1.1.4 Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічною обробкою (в подальшому ХТО) називають поверхнєве насичення сталі відповідним елементом (наприклад, вуглецем, азотом, алюмінієм, хромом та ін.) шляхом його дифузії в атомарному стані з навколишнього середовища при високій температурі. Процес ХТО складається з трьох елементарних стадій [3]:

- 1) виділення елемента-дифузанта в атомарному стані;
- 2) контактування атомів цього елемента з поверхнею сталевого виробу і проникнення їх в ґратку заліза (абсорбція);
- 3) дифузія атомів насичуючого елемента в глибину металу.

Залежно від елемента, що насичує, розрізняють наступні процеси ХТО [4]:

- цементация, так називається процес насичення поверхні сталі вуглецем. Мета цементації – отримання твердої та зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхні вуглецем і наступним гартуванням з низьким відпуском. Для цементації зазвичай використовують низьковуглецеві сталі (0,12...0,23% С). Вибір таких сталей зумовлений тим, щоб серцевина виробу, яка не насичується вуглецем при цементації, зберігала високу в'язкість після гартування.

- азотування – процес дифузійного насичення поверхні сталі азотом при нагріванні її в аміаку. Азотування надзвичайно суттєво підвищує твердість поверхні, його зносостійкість, межу витривалості і корозійну стійкість у воді, атмосфері, парові тощо. Висока твердість азотованого покриття (суттєво вища, ніж цементованого) зберігається при нагріванні до високих температур (550...600 °С), тоді як твердість цементованого покриття зберігається тільки до 200...225 °С.

- алітування – процес дифузійного насичення поверхні виробів алюмінієм з метою підвищення жаростійкості, корозійної і ерозійної стійкості. При алітуванні заліза і сталей спостерігається плавне падіння концентрації алюмінію по товщині покриття. Залежно від методу і режиму насичення алюмінієм може доходити до 58% (по масі) на поверхні і відповідати утворенню фазового шару $FeAl_3$. В результаті алітування сталь набуває високої жаростійкості (до 850 – 900°C), так як в процесі нагрівання поверхні алітованих виробів утворюється щільна плівка оксиду алюмінію (Al_2O_3), що оберігає метал від окислення. Алітоване покриття має також значний опір корозії в атмосфері і морській воді. Товщина алітованого покриття досягає 0,2 – 1,0 мм, поверхнева твердість 500 HV, зносостійкість є низькою. Алітуванню піддають різні вироби, що працюють при високих температурах.

- хромування є одним із найстаріших та найефективніших методів поверхневого зміцнення сталей. Застосування тонкого покриття хрому на поверхні матеріалу покращує його корозійну стійкість та зносостійкість. Дослідження нових технологій хромування та їхніх впливів на властивості сталей є важливим напрямком для вдосконалення цього традиційного методу [3].

- борування – насичення поверхні металів і сплавів бором з метою підвищення твердості, зносостійкості і корозійної стійкості. Боруванню піддають сталі перлітного, феритного і аустенітного, класів, тугоплавкі метали і нікелеві сплави. Борування сталі забезпечує високу корозійну стійкість у водних розчинах соляної, сірчаної та фосфорної кислот, причому при однаковій товщині шару однофазні боридні шари мають більшу кислотність, ніж двофазні. В азотній кислоті боридні шари нестійкі, проте швидкість руйнування борованих сталей в 1,5-5 разів нижче, ніж неборованих. Боровані шари на вуглецевих сталях стійкі до впливу киплячих водних розчинів NaOH і KOH, а також розплавів цинку, свинцю, олова, кадмію.

- силіціювання – насичення кремнієм. В результаті дифузійного насичення поверхні кремнієм (силіціювання) підвищується корозійна стійкість, жаростійкість, твердість і зносостійкість металів і сплавів. При силіціюванні заліза і сталі на поверхні утворюється α -фаза (твердий розчин кремнію в α -залізі). Іноді дифузне покриття складається з двох фазових шарів: на поверхні

утворюється шар зміцненої α' - фази (Fe_3Si), а далі йде α -фаза. Якість силіційованого покриття значно знижується через виникнення пористості. Безпористі шари кремністого фериту на сталі 20 при 1100 – 1200°C на протязі 3 – 5 год. були отримані в суміші моносілану SiH_4 (6 – 10 л/год) з дисоційованим аміаком або аргоном або азотом (15 – 20 л/год). Найбільший інтерес представляє силіціювання легованих сталей, так як Cr, Al і Ti, потрапляючи в силіційований шар, підвищують його жаростійкість.

- нітроцементация – процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом при 840...860 °C в газовому середовищі, яке складається з науглецьовувального газу та аміаку. Тривалість процесу 4...10 годин. Основне призначення нітроцементации – підвищення твердості і зносостійкості сталевих виробів.

Методи ХТО розділяють на: насичення з твердої фази (порошкові засипки), насичення з рідкої фази і насичення з газової фази. Насичення з паст (обмазок) займає особливе положення. Особливо виділяють метод ХТО в іонізованих газах (ХТО в плазмі тліючого розряду). Існують способи ХТО, які реалізуються при впливі на поверхню концентрованими потоками енергії [4].

1.2 Вимоги, щодо матеріалу основи для хромування

Хромування сталевих виробів є складним процесом, який вимагає ретельного врахування умов роботи виробу та властивостей вихідного матеріалу. Визначення оптимальних умов та вимог грає ключову роль у забезпеченні ефективності хромування та підвищенні тривалості служби виробів [5, 6].

Ретельний аналіз хімічного складу середовища, в якому виріб буде експлуатуватися, важливий для вибору оптимального методу хромування. Наприклад, у випадку агресивного хімічного середовища чи високих температур, можуть вимагатися специфічні хромувальні технології [6]. При наявності значного механічного навантаження, важливо враховувати твердість та зносостійкість хромованого покриття. Це дозволяє забезпечити найкращий захист від зносу та ушкоджень [6]. Визначення термічної стійкості хромованого покриття важливе для впливу на температурні коливання в експлуатаційних умовах [6].

Хімічний склад: вихідний матеріал повинен мати хімічний склад, що сприяє ефективній взаємодії з хромуванням. Оптимальна хімічна сумісність дозволяє утворювати стійкі та адгезійні хромоване покриття [7]. Матеріал основи повинен мати механічні властивості, які дозволяють провести хромування та забезпечити необхідну міцність покриття. Не останнє місце займає можливість легкої обробки та формування матеріалу при створенні виробу з необхідною геометрією та поверхневим хромуванням. В той же час забезпечення високої корозійної стійкості є однією з головних переваг хромування [7].

1.3 Номенклатура матеріалів основи для хромування

Хромування — це процес нанесення тонкого шару хрому на поверхню різних матеріалів для покращення їхніх властивостей, таких як стійкість до корозії, тертя та зносу, а також для надання декоративного вигляду. Номенклатура матеріалів, які можуть бути використані як основа для хромування, включає:

Сталь: часто використовується через свою високу стійкість до корозії та естетичний вигляд.

Мідь та сплави: мідь у сплаві зі специфічними пропорціями може слугувати хорошою основою для хромування.

Алюміній та його сплави: при попередній обробці із застосуванням відповідних покриттів алюміній може бути піддається хромуванню.

Магнієві сплави: у деяких випадках вони можуть бути використані як базовий матеріал.

Пластмаси: акрилові та інші пластмаси: Однак хромування пластмас може вимагати додаткового оброблення та покриття.

Кераміка: порцеляна та інші керамічні матеріали: Деякі керамічні матеріали можуть бути піддаються хромуванню.

Латунь: латунь: золотистий вигляд латуні може надати хромуваному шару особливий вигляд.

Важливо враховувати, що перед хромуванням матеріал повинен бути підданий відповідній обробці, яка включає підготовку поверхні, видалення забруднень та застосування підкладок для поліпшення адгезії хромуваного шару.

Для хромування використовують хромові сполуки, які входять у склад електроліту під час електролітичного процесу хромування. Найчастіше використовують такі хромові сполуки:

Хромові кислоти, такі як хромова кислота (H_2CrO_4) або пірометалічна хромова кислота ($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), можуть використовуватися для нанесення хромового шару. Вони можуть бути частиною електроліту.

Хромові солі, такі як хромати або хроміти, можуть також бути використані як джерело хрому для процесу хромування.

Хромові комплекси, такі як трихлорид хрому (CrCl_3) або хромат калію (K_2CrO_4), можуть бути введені в електроліт для нанесення хромового покриття.

Хроморганічні сполуки можуть використовуватися для хромування, особливо в органічних розчинах.

Процес хромування може бути виконаний за допомогою електролітичного осадження, де об'єкт, який хромують, служить катодом, а хромові іони розчинені у ваннах, виступаючи як анод. Електроліт включає розчин хромових сполук, які взаємодіють із заготовкою, утворюючи стійкі хромові покриття на її поверхні.

Важливо зазначити, що використання речовин і електролітів в хромуванні повинно відбуватися відповідно до нормативів і екологічних стандартів, оскільки хромові сполуки можуть бути токсичними і шкідливими для довкілля [8, 9].

1.4 Аналіз методу хромування

Хромування сталі ХВГ є ефективним методом поліпшення її властивостей та є необхідним етапом для покращення її властивостей та збільшення експлуатаційного терміну. Хромовані шари надають сталі додаткові якості, такі як висока корозійна стійкість, зносостійкість та покращена твердість. Це робить сталь ХВГ більш довговічною та придатною для використання у важких умовах [10].

Хромування визнано як ефективний метод для поліпшення властивостей металевих поверхонь, забезпечуючи їм високу стійкість до корозії, зносостійкість та привабливий зовнішній вигляд. Аналіз цього процесу та його різновидів

розкриває багато аспектів, які варто враховувати при виборі методу хромування для конкретного застосування [11, 12].

Хромування полягає у внесенні покриття хрому на поверхню сплаву, що піддається обробці.

Основні переваги [12]:

- висока корозійна стійкість.
- покращення механічних властивостей.
- зносостійкість та довговічність покриття.

Основні недоліки [12]:

- високі витрати енергії при електролітичному хромуванні.
- обмеженість розмірів деталей через електролітичний метод.

1.4.1 Різновиди методу хромування

Електролітичне хромування – це процес, при якому хромовий шар наноситься на металеву поверхню за допомогою електричного струму у спеціальних електролітичних ваннах. Цей метод використовується для поліпшення механічних та корозійних властивостей металевих виробів, а також для створення декоративних покриттів [13].

Властивості та застосування. Товщина покриття: варіюється від декількох мікрометрів до кількох десятків мікрометрів, залежно від тривалості процесу.

Декоративні властивості: застосовується для створення глянцевого, стійкого до корозії та декоративних покриттів на виробах.

Підвищення твердості та зносостійкості: електролітичне хромування поліпшує механічні властивості металевих виробів, забезпечуючи їм більшу твердість та зносостійкість.

Застосування в автомобільній промисловості: виготовлення хромованих деталей автомобілів, включаючи решітки радіатора та обрамлення дзеркал.

Захист від корозії: хромове покриття забезпечує високий рівень корозійної стійкості металевих поверхонь [14].

Хімічне хромування – це метод, при якому хромоване покриття формується на поверхні металевих виробів без використання електричного струму. Цей процес базується на хімічних реакціях між металом та розчинником хрому [15].

Властивості та застосування:

Тонке та рівномірне покриття: хімічне хромування забезпечує однорідне та гладке покриття без видимих включень.

Декоративні покриття: використовується для створення декоративних та глянцевих поверхонь, таких як у прикрасах чи меблях.

Висока адгезія: хромовий шар має високу адгезію до металевої поверхні.

Можливість обробки великих виробів: підходить для хімічного хромування великих або складних виробів, які можуть бути важко оброблені електролітичним методом.

Плазмове хромування – це технологічний процес, в якому використовується плазма (іонізований газ) для нанесення тонкого хромового покриття на поверхню металевих виробів. Цей метод комбінує переваги електролітичного та хімічного хромування, забезпечуючи високу адгезію та стійкість покриття [16].

Властивості та застосування:

Висока адгезія та однорідність: плазмове хромування забезпечує високу адгезію до металевої поверхні та рівномірне покриття без виражених дефектів.

Велика твердість та опір зносу: осаджений шар хрому має високу твердість, що призводить до покращення опірності до зносу та подовження терміну служби виробів.

Контрольована товщина шару: інженерний контроль процесу дозволяє точно контролювати товщину покриття в широкому діапазоні.

Застосування в авіації та космосі: використовується для покриття деталей літаків, космічних апаратів та інших високотехнологічних систем.

Дифузійне хромування – це технологічний процес, що базується на проникненні атомів хрому в поверхневий шар металевого виробу за умови підвищених температур. Цей метод дозволяє створювати стійкі та однорідні хромові покриття, покращуючи при цьому механічні та корозійні властивості виробів [17].

Дифузійне хромування дозволяє атомам хрому глибоко проникати в металеву структуру, що покращує міцність покриття. Покриття хрому формується рівномірно по всій поверхні виробу, забезпечуючи однорідність властивостей. Завдяки високій твердості хрому, дифузійне хромування покращує зносостійкість виробів.

Дифузійне хромування застосовується для покриття деталей двигунів, шестерень та інших механізмів.

Вакуумне хромування – це технологічний процес, що використовує вакуум для нанесення хрому на поверхню металевих виробів. Вакуум створюється в спеціальній камері, в якій відбувається осадження хрому на поверхню виробу, створюючи стійке та декоративне покриття глянцеві покриття, що використовуються в ювелірній та автомобільній промисловості [18].

Хромові покриття, отримані вакуумним хромуванням, мають високу стійкість до корозії. Застосовується для поліпшення механічних та технічних властивостей виробів, таких як зносостійкість та твердість. Вакуумне хромування застосовується в електричній промисловості для виготовлення деталей, що вимагають високого провідника та декоративного вигляду [18].

Для ретельного розуміння поточного стану досліджень у сфері вакуумного активованого дифузійного хромування, ми звернемося до важливих наукових джерел. Спробуємо відокремити основні висновки та вклади дослідників у цей напрямок.

В роботі [19] зразки зі сталей 15X12ВНМФ і 20X1М1Ф1ТР хромували методом вакуумного насичення в парах хлористого натрію при температурах 1070 і 1100 °С та тривалості процесу 4 і 10 год. Встановлено, що після хромування при кавітаційному і абразивному впливу зразки із цих сталей за зносостійкістю дещо поступаються вихідним зразкам. З'ясовано, що при хромуванні зразків на їхній поверхні утворюється дифузійне покриття товщиною 50 –130 мкм залежно від умов обробки. Проведено порівняльні випробування цих зразків на жаростійкість на повітрі при температурі 900 °С. Встановлено, що жаростійкість хромованих зразків значно перевищує стійкість вихідних.

Авторами статті [19] проведено насичення поверхні зразків зі сталі 25X1МФ хромом. Для цього використовували метод вакуумного активованого дифузійного

хромування. У цьому процесі в якості активатора використовували хлористий натрій. Було встановлено, що вакуумне активоване дифузійне хромування зразків зі сталі 25X1МФ призводить до формування покриття, що містить від 87 до 97 мас.% цього елемента. При цьому встановлено, що підвищення температури процесу і його тривалості призводить до збільшення вмісту хрому на поверхні зразків. Проведені випробування показали, що в разі кавітаційно-ерозійного впливу на поверхню хромованих зразків зі сталі 25X1МФ вони мають більш високу стійкість. При абразивному зносі стійкість хромованої поверхні сталі в 1,8–3,0 рази вище в порівнянні з необробленим матеріалом [19]. Результати цієї роботи можуть мати важливе значення для виробництва та застосування матеріалів із покращеними механічними властивостями.

Стаття [20] описує дифузійне насичення в режимі термоцикування, що суттєво підвищує глибину проникнення дифундуючих атомів в зразок порівняно з ізотермічною витримкою. Порошки заліза ПЖ1М3 наносили на підготовлену поверхню сталей за допомогою плазмонапилюючої установки 15ВБ. Товщина напиленого шару складала 0,2 – 0,8 мм. Перед дифузійним насиченням поверхня напиленого шару порошку заліза піддавалась шліфуванню на плоскошліфувальному верстаті з метою вирівнювання його по товщині та шорсткості, для підготовки зразків до склерометричних випробувань. Процес дифузійного хромування проводили при різних температурних режимах на протязі 2-6 годин (ізотермічна витримка при температурі 1250 °С та термоцикування в околі температури поліморфного перетворення заліза) методом твердої фази із суміші однакового складу.

Дифузійне насичення сталі в режимі ізотермічної витримки та термоцикування має ряд відмінностей. В режимі ізотермічної витримки формується рівномірний дифузійний шар незначної товщини з тонкою підшаровою зоною. Структура дифузійного шару грубозерниста, як правило, з витягнутими зернами. У режимі термоцикування формується дифузійна зона значно більшої товщини (у 3-4 рази), а під нею утворюється ще одна, так звана, «розпушена» зона, яка характеризується високим вмістом домішкових елементів.

Дослідження мікрорентгеноспектрографом показали, що при термоцикуванні домішкові елементи (С, Si, Mn) відтискаються з поверхні в

глибину при хромуванні та одночасно 170 відбувається інтенсивне їх підсмоктування з глибини до поверхні. Мікротвердість покриття складає 0,6...0,8 ГПа, причому більша мікротвердість спостерігається на дифузійних покриттях отриманих у режимі термоцикування. Експериментальні дані свідчать, що дифузійне насичення в режимі термоцикування суттєво підвищує глибину проникнення дифундуючих атомів в зразок порівняно з ізотермічною витримкою. Це пояснюється тим, що процес дифузії інтенсифікується поліморфними перетвореннями, які є генератором неврівноважених вакансій.

Дифузійне хромування шляхом термоцикування в околі температур поліморфного перетворення заліза плазмонапиленого порошку заліза забезпечує формування поверхні покриття, що суттєво підвищує поверхневу міцність порівняно з ізотермічною витримкою. Така технологія поверхневого зміцнення сталей може бути рекомендована для відновлення номінальних розмірів зношених деталей [20].

1.4.2 Перспективні напрямки хромування в машинобудуванні

Хромування в машинобудуванні відіграє важливу роль у створенні захисних та декоративних покриттів для металевих деталей. Деякі перспективні напрямки хромування в машинобудуванні включають [21]:

Екологічно чисті методи хромування. Розробка нових екологічно чистих технологій хромування, які не використовують шкідливі хімічні речовини, є актуальним напрямком. Це важливо для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Технології хромування з використанням наноматеріалів. Використання наноматеріалів у хромуванні може поліпшити механічні та корозійні властивості покриттів, забезпечуючи більш ефективний захист металевих поверхонь.

Функціональні хромові покриття. Розробка хромових покриттів, які мають додаткові функціональні властивості, такі як антикорозійний захист, антифрикційність, антизапотівання тощо[22].

Хромування з використанням технологій плазмового або вакуумного осадження. Використання вакуумних та плазмових технологій може забезпечити

високу якість та однорідність покриттів, а також дозволить застосовувати їх на складних формах деталей.

Розробка покриттів для нових матеріалів. Врахування особливостей нових матеріалів, таких як леговані сталі, алюмінієві сплави та композитні матеріали, для розробки хромових покриттів, які відповідають їхнім властивостям.

Декоративні та функціональні покриття для автомобільної промисловості: вдосконалення технологій хромування для створення декоративних та функціональних покриттів для автомобільних деталей, що відповідають вимогам сучасних дизайнерських та екологічних стандартів.

Ці напрямки відображають тенденції до вдосконалення технологій хромування в машинобудуванні з метою поліпшення властивостей покриттів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Висновки

В літературному огляді розглянуті питання щодо поверхневого зміцнення виробів шляхом нанесення модифікуючих покриттів. Показано, що основним чинником, що характеризує вибір виду та моделі нанесення модифікованого покриття, є саме умови роботи обладнання чи виробу.

Зміцнення поверхні сталей є важливим аспектом їх використання в промисловості, оскільки це прямо впливає на їхню тривалість служби та функціональні характеристики. Різноманіття методів поверхневого зміцнення швидко розвивається, враховуючи сучасні вимоги до матеріалів у різних галузях. Наукові дослідження активно спрямовані на удосконалення інноваційних та традиційних методів для досягнення максимальної ефективності та відповідності високим стандартам якості. В розділі ми розглянули основні перспективні методи поверхневого поліпшення, а саме: лазерна обробка, хімічне осадження, плазмове напилення, хіміко-термічна обробка.

Хіміко-термічна обробка сталей виявляється ефективним методом, оскільки поєднує в собі кілька переваг, таких як висока твердість, контрольована глибина зміцнення та покращення різних механічних властивостей. Вартість виробництва і експлуатації може бути зменшена завдяки поліпшенню властивостей матеріалів через хіміко-термічну обробку, що робить цей метод економічно доцільним у багатьох виробничих галузях. Враховуючи ці переваги, цей метод може бути оптимальним для конкретних завдань і вимог виробництва.

В розділі нами було розглянуто сталь ХВГ, її вибір описується її попитом та властивостями, які якнайкраще задовольняють поверхневе поліпшення методом хімікотермічної обробки.

В процесі огляду літератури нами було обрано хромування як перспективний метод поверхневого поліпшення, так як хромування володіє властивостями, які роблять його привабливим методом хіміко-термічної обробки для вирішення різноманітних завдань, обумовлених експлуатаційними умовами та технічними вимогами. Хромування визнається як ефективний спосіб покращення властивостей металевих поверхонь, забезпечуючи їм високу стійкість до корозії, зносостійкість та привабливий зовнішній вигляд. Аналіз цього процесу

та його різновидів розкриває багато аспектів, які слід враховувати при виборі конкретного методу хромовання для певного застосування.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали відіграють критичну роль у різних аспектах нашого життя, від будівництва і транспорту до медицини та електроніки. Для забезпечення надійності та ефективності застосування матеріалів дуже важливо вивчати, розуміти та контролювати їхню структуру та властивості. Зокрема, сталі, як один із найпоширеніших матеріалів, використовуються в безлічі галузей, включаючи будівництво, авіацію, автомобілебудування, енергетику та інші. І для забезпечення їхньої якості і безпеки необхідно вдосконалювати методи контролю їхньої структури та властивостей [23]

2.1 Матеріали дослідження

В даній роботі запропоновано дослідити процес хромування легованої сталі ХВГ.

Сталь ХВГ, що відноситься до групи хромованадієвих сталей, є інструментальним матеріалом із високим рівнем міцності та стійкості до зносу [24]. Ця сталь виготовляється шляхом легування з метою покращення її механічних властивостей та довговічності, хімічний склад наведено в таблиці 2.1 [24].

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі ХВГ, % [25]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	Cu
0.9 - 1.05	0.1 - 0.4	0.8 - 1.1	до 0.35	до 0.03	до 0.03	0.9 - 1.2	до 0.3	1.2 - 1.6	до 0.3

Сталь ХВГ має ряд характеристик, які визначають її високу популярність у різних галузях [11]. Сталь ХВГ характеризується своєю високою міцністю, яка робить її ідеальним матеріалом для виробництва важконавантажених

конструкцій. Висока твердість, досягнута завдяки легуванню хрому та ванадію, робить цей матеріал відмінним вибором для деталей, які піддаються зношуванню та ударним навантаженням [26].

Стійкість до зносу. Сталь ХВГ, завдяки своїй твердості та високому рівню міцності, виявляє високу стійкість до зносу. Це робить її відмінним матеріалом для виготовлення деталей, які піддаються постійному тертю та зносу, наприклад, валів, шестерень і різьбових елементів.

Стійкість до корозії. Хоча сталь ХВГ має певну стійкість до корозії, застосування процесу хромування може значно покращити її корозійну стійкість. Завдяки захисному шару хрому на поверхні сталі, матеріал стає більш стійким до впливу агресивних середовищ, забезпечуючи подовжену службу та надійність в умовах високої вологості чи хімічної агресії.

Стійкість до високих температур. Сталь ХВГ демонструє хорошу стійкість до високих температур, що робить її відмінним вибором для деталей, які працюють в умовах підвищених температур.

Відмінні механічні властивості. Сталь ХВГ характеризується високою межею текучості та витривалістю, що робить її відмінною для виробництва структурних компонентів та деталей, які піддаються циклічному навантаженню.

Оброблюваність та формування. Однією з ключових переваг сталі ХВГ є її добра оброблюваність. Це дозволяє легко обробляти та формувати матеріал, створюючи складні конструкції та деталі за допомогою різних технологій.

Всі зазначені вище властивості сталі ХВГ роблять її універсальним та важливим матеріалом для широкого спектру виробничих застосувань, забезпечуючи оптимальні характеристики при різних умовах експлуатації.

2.2 Метод нанесення карбідних покриттів

В роботі для створення активної газової фази використовувалися вихідні матеріали, такі як порошок технічно чистого хрому розміром 100 - 300 мкм (рис. 2.1, а) та чотирихлористий вуглець (тетрахлорметан) CCl_4 (рис. 2.1, б) – безбарвна важка рідина з запахом, схожим на хлороформ. Додатково в контейнер вводили

деревне вугілля (рис. 2.1, в), щоб підвищити науглецьовуючу здатність насичуючого середовища.

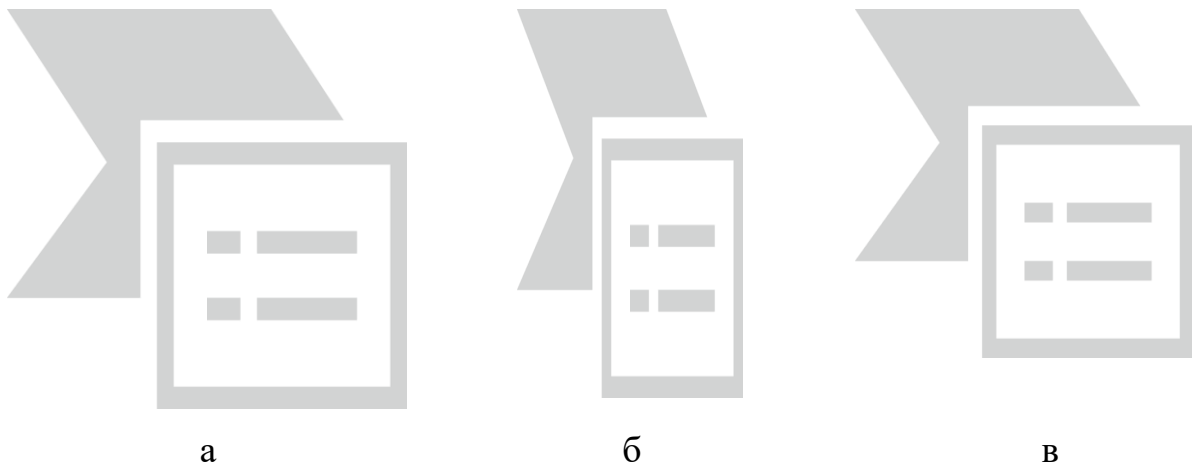


Рисунок 2.1 – Вихідні речовини для проведення процесу дифузійного хромування: а- порошок хрому металевого, б- тетрахлорметан, в- деревне вугілля

Для застосування запропонованої технології нанесення карбідних покриттів використовується установка, побудована на основі шахтної печі СШОЛ 1.1.6/12, схема якої представлена на рисунку 2.2 [27].

Зразки, підготовлені для насичення, разом з порошком насичуючого металу та вуглецьмісткими речовинами, завантажуються в контейнер вставки, розташований у реакційній камері, без прямого контакту. Кришка, що в даному випадку з'єднана з вставкою, закриває верхню частину камери. Для забезпечення герметичності та необхідного ступеня розрядження між корпусом камери та кришкою передбачено вакуумне ущільнення.

Верхню частину камери охолоджують водою, що циркулює в привареній до корпусу втулці, щоб уникнути згоряння вакуумного ущільнення при високих температурах і уникнути розгерметизації камери.

Після герметизації реакційну камеру вакуумують до 10-20 Па за допомогою вакуумного насоса НВР 5Д. Тиск у реакційній камері вимірюється за допомогою манометричної лампи ЛТ-2, пов'язаної з вакуумметром ВІТ-1А ПС.

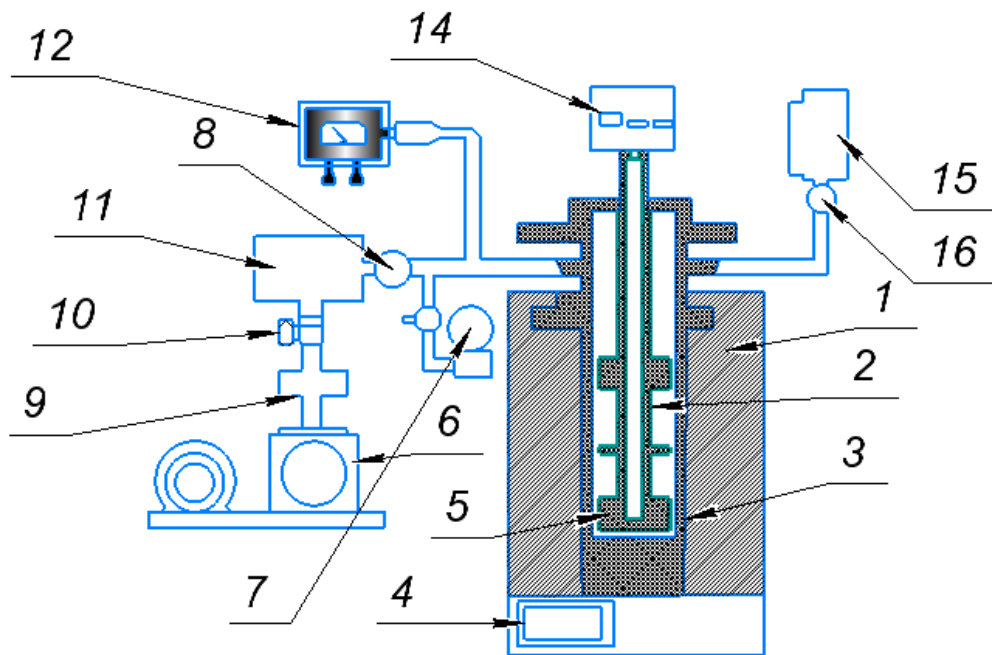


Рисунок 2.2 – Схема установки для нанесення покриттів:

1- шахтна піч СШОЛ 1.1.6/12; 2- реакційна камера; 3-контейнер; 4- терморегулятор; 5- термопара; 6- вакуумний насос НВР 5Д; 7- манометр ОБВ-1-100; 8,10,16- вакуумні крани, 9- фільтр; 11- вакуумний балон, 12- вакуумметр ВІТ-1А ПС; 13 - манометрична лампа ЛТ-2; 14- потенціометр ЗПД-37; 15- ємність з CCl_4 .

Після досягнення вказаного тиску, вакуумний насос вимикають, і реакційну камеру нагрівають до температур, що насичуються на рівні 1323 К. Потім камеру вакуумують знову до зазначеного тиску і вводять чотирихлористий вуглець. Це введення відбувається з резервуару через вакуумний кран. Контроль тиску в реакторі під час введення активатора проводять за допомогою мановакуумметра ОБВ-1-100, який може бути відключений від системи вакуумним краном після вимірювання. Для уникнення забруднення мастила у вакуумному насосі та оточуючого простору продуктами хімічних реакцій, в системі передбачений фільтр. Для підтримки необхідного розрядження в камері тиск у ній може бути знижено форвакуумним балоном, який з'єднаний з системою кранами[28].

Вимірювання та автоматичне регулювання температури в процесі нагрівання та ізотермічної витримки виконували за допомогою потенціометра ЗПД-37 та термопари ПП-1, гарячий спай якої контактував з нагрівачем шахтної печі. Додатковий контроль температури можливий за допомогою другої термопари, яку

вводять усередину вставки. Для вимірювання використовують мілівольтметр ГШ-63. Час витримки покриттів становив 2-6 годин. У використаній технології керування процесом насичення може бути реалізовано за допомогою:

- зміни тиску реакційного середовища;
- розміщення вихідних компонентів та оброблюваного виробу в різні температурні зони;
- варіювання температури введення, кількості та виду активатора;
- зміни співвідношення компонентів у складі вихідних сумішей[29].

2.3 Класифікація методів дослідження

Сучасні методи контролю структури та властивостей матеріалів дозволяють теоретикам та практикам не лише досліджувати ці параметри на різних рівнях, від мікро- до нанорозмірів, але й розробляти нові матеріали з покращеними характеристиками. Ці методи обумовлюють технічний прогрес і впливають на розвиток різних галузей, включаючи виробництво легких і міцних матеріалів, нових енергетичних технологій, медичних пристроїв та багато інших сфер [30].

Всі види технічного контролю виробничих об'єктів поділяються на 3 групи: руйнівний контроль, пошкоджуючий контроль і неруйнівний контроль [30].

Руйнівний контроль – це сукупність таких видів контролю, які вимагають відбору проб або вирізки зразків безпосередньо з матеріалу об'єкта. При цьому об'єкт залишається непридатним до відновлення місць відбору проб (зразків). До руйнуючих видів контролю відносяться: хімічний аналіз матеріалу об'єкта (вимагає певного обсягу стружки); металографія (дослідження структури металу об'єкта; вимагає вирізки шліфів); механічні випробування матеріалу об'єкта на розтягування, стиснення, вигин, ударну в'язкість (вимагає вирізки спеціальних зразків - темплетів).

Пошкоджуючий контроль – це сукупність таких видів контролю, які проводяться безпосередньо на об'єкті, при цьому об'єкт зберігає працездатність, але в місцях контролю лишаються сліди, які не перешкоджають експлуатації. До

пошкоджуючих видів контролю, зокрема, відносяться: вимірювання твердості втискуванням спеціальних інденторів (бабітові кульки, алмазні наконечники; на поверхні об'єкта залишається вм'ятинна); стилоскопіювання (оцінка марки сталі за складом оптичного спектру вольтової дуги, створюваної між електродом спеціального приладу - стилоскопу і поверхнею об'єкта, на якій залишається припік).

Неруйнівні методи контролю (НМК) (дефектоскопія) – це узагальнююча назва методів контролю матеріалів (виробів), що використовуються для виявлення порушення суцільності або однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, що не вимагають руйнування зразків матеріалу та/або виробу в цілому. Розрізняють поняття «неруйнівний контроль» і «неруйнівний фізичний контроль». Залежно від принципу роботи всі НМК діляться на [30]: акустичні (ультразвукові); капілярні; магнітні (або магнітопорошкові); оптичні (візуально оптичні); радіаційні; радіохвильові; теплові; контроль течешукачем; електричні; електромагнітні, або струмові (методи вихрових струмів)[30].

Результати даної роботи будуть отриманні як комплексне дослідження структури, складу, характеристик і властивостей сталі ХВГ після хіміко-термічної обробки.

2.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний метод є інструментом для вивчення кристалічних структур різних матеріалів. Цей метод базується на властивості рентгенівських променів проникати через матеріали та розсіюватися на атомах у кристалічній ґратці, що дозволяє визначити атомну та молекулярну структуру матеріалів (рис. 2.3) [31].

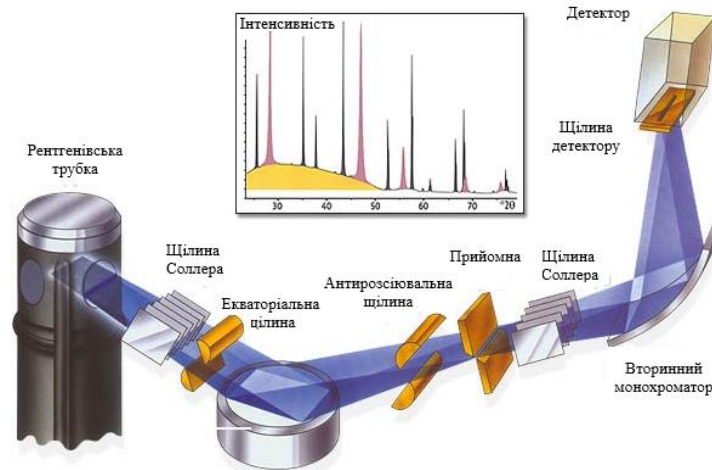


Рисунок 2.3 – Схема рентгенівської дифрактометрії [31]

Основні етапи рентгеноструктурного методу включають наступні [31]:

1. Підготовка зразка: спочатку необхідно підготувати зразок матеріалу, для дослідження. Зразок повинен бути чистим для отримання якісних даних.

2. Отримання рентгенівських променів: рентгенівські промені генеруються в рентгенівському рентгеногенераторі або синхротронному променевому джерелі. Ці промені є монохроматичними і мають високий енергетичний потік.

3. Освітлення зразка: рентгенівські промені спрямовуються на зразок, де вони розсіюються на атомах у різних напрямках. Це розсіювання є дифракцією і відбувається від кристалічної ґратки.

4. Формування дифракційної картини: дифраговані рентгенівські промені формують дифракційну картину на детекторі. У цій картині відображаються інтенсивність та кути дифракції, що залежать від структури матеріалу зразка.

5. Аналіз дифракційних даних: дифракційні дані аналізуються для визначення структури кристалу. Це включає в себе обчислення відстаней між атомами, кутів між площинами ґратки та інших параметрів.

6. Визначення структури: на основі аналізу дифракційних даних визначається точна атомна структура матеріалу зразка, включаючи розташування атомів у ґратці та їхні взаємні відстані.

7. Виведення результатів: остаточні результати представляються у вигляді структурних формул, моделей або тривимірних візуалізацій, які можуть бути використані для подальших досліджень чи інших застосувань[31].

Переваги рентгеноструктурного методу:

Висока роздільна здатність: рентгеноструктурний метод надає високу роздільну здатність, що дозволяє визначити структурні деталі на рівні атомів. Висока точність: цей метод надає високу точність визначення атомних координат та інших параметрів кристалу. Універсальність застосування: рентгеноструктурний метод може бути використаний для визначення структури різних кристалів, включаючи органічні сполуки, металеві кристали, мінерали, біомолекули тощо. Неруйнівність: рентгеноструктурний аналіз не пошкоджує зразки, що дозволяє подальше їх використання для інших досліджень. Широка доступність обладнання: Зараз існує велика кількість лабораторій та установок, обладнаних для проведення рентгеноструктурного аналізу, що робить цей метод досить доступним для дослідників.

Недоліки рентгеноструктурного методу: рентгеноструктурний метод може бути використаний тільки для кристалів, що мають регулярну ґратку. Багато матеріалів не кристалізуються або утворюють нерегулярні структури; підготовка кристалічного зразка для рентгеноструктурного аналізу може бути складною і вимагати часу. Довготривала експозиція рентгенівським променям може призвести до дефрагментації кристалу та радіаційної пошкоженості. Аналіз рентгеноструктурних даних може бути складним та вимагати великої обробки та розрахунків[31].

Незважаючи на ці обмеження, рентгеноструктурний метод залишається найефективнішим засобом визначення атомної структури кристалів та допомагає розкрити багато важливих відомостей у хімії, біології, матеріалознавстві та інших галузях. Приклад устаткування наведено на рисунку 2.4 [32].



Рисунок 2.4 – Дифрактометр [32]

Дифрактометр – це прилад, призначений для вимірювання характеристик дифракції хвиль, таких як рентгенівське, електронне чи світлове випромінювання. Основним принципом роботи дифрактометра є вивчення розсіяння хвиль на кристалах чи інших структурах для визначення їхньої кристалічної будови або властивостей.

Існує кілька типів дифрактометрів, але якщо говорити про рентгенівські дифрактометри, основні елементи включають:

Джерело рентгенівського випромінювання: випромінювання, зазвичай рентгенівське, використовується для освітлення об'єкта.

Монокристал або монохроматор: цей елемент дозволяє вибирати конкретні довжини хвиль рентгенівського випромінювання.

Образець: Матеріал, який ви вивчаєте. рентгенівське випромінювання, яке проходить через образець, піддається дифракції.

Детектор: реєструє і фіксує дифраговане випромінювання. Це може бути фотоплівка, сцинтиляційний детектор або інші типи детекторів.

Методи визначення зазвичай включають вимірювання кутів, під котрими спостерігається дифракція, і аналіз інтенсивності дифрагованого випромінювання. З цієї інформації можна виводити параметри кристалічної решітки, орієнтацію кристалів та інші характеристики об'єкта.

Дифрактометри широко використовуються в наукових дослідженнях, в кристалографії, матеріалознавстві, хімії і фізиці для вивчення кристалічних структур та властивостей різних матеріалів[33].

2.5 Металографічний аналіз

Наступним етапом дослідження буде проведення металографічного аналізу. Даний метод дослідження є одним із важливих підходів у вивченні структури матеріалів, зокрема металів та сплавів. Цей метод дозволяє отримувати інформацію про мікроструктуру матеріалів, що є важливими параметрами для оцінки їхніх властивостей та якості. Метод має характерні переваги та недоліки [31]. Основними етапами цього методу є: вирізка, шліфування, полірування та травлення хімічними реактивами.

Переваги металографічного методу: металографічний метод надає деталізовану інформацію про мікроструктуру матеріалу, що допомагає в розумінні його властивостей та поведінки. Крім того цей метод дозволяє визначити фазовий склад матеріалу та ідентифікувати фази, які присутні в зразку. Металографія допомагає виявляти дефекти, такі як тріщини, включення та інші аномалії у структурі матеріалу. Метод має стандартизовані процедури підготовки та дослідження, що полегшує порівняння результатів між різними дослідниками та лабораторіями.

До основних недоліків металографічного методу можна віднести: підготовка зразків для металографії може бути дуже часоємною процедурою, особливо для великої кількості зразків [33]. Можливість пошкодження структури: під час підготовки та травлення можливе пошкодження структури матеріалу, що може вплинути на результати дослідження. Обмеження в товщині зразка: зразки повинні бути тонкими, щоб бути піддані дослідженню під мікроскопом, що може обмежувати можливість вивчення товстих матеріалів. Якість та надійність матеріалів: металографічний аналіз є ключовим для вивчення та підвищення якості та надійності матеріалів, що використовуються в різних галузях, включаючи авіацію, автомобільну промисловість, будівництво та інші.

Металографічний аналіз важливий для розробки нових матеріалів, їхнього вдосконалення та адаптації до конкретних вимог. В металургії та інших галузях важливо виявляти та аналізувати дефекти та тріщини в матеріалах для забезпечення безпеки та запобігання аваріям. Металографічний аналіз дозволяє вченим досліджувати мікроструктуру матеріалів для розуміння їхнього поведінки та властивостей.

Перспективність металографічного методу полягає в розвитку нових технологій, а саме: з впровадженням нових технологій, таких як цифрова обробка зображень та комп'ютерне моделювання, металографічний аналіз стає більш точним та ефективним. Поєднання металографічного аналізу з іншими методами неруйнівного контролю розширює можливості виявлення дефектів та оцінки структури матеріалів. Зростаючий інтерес до мікро- та наноматеріалів вимагає більш детального аналізу їхньої мікроструктури, що робить металографію актуальною та перспективною. Металографічний аналіз може бути використаний в поєднанні з іншими методами для комплексного дослідження матеріалів у різних галузях науки та техніки.

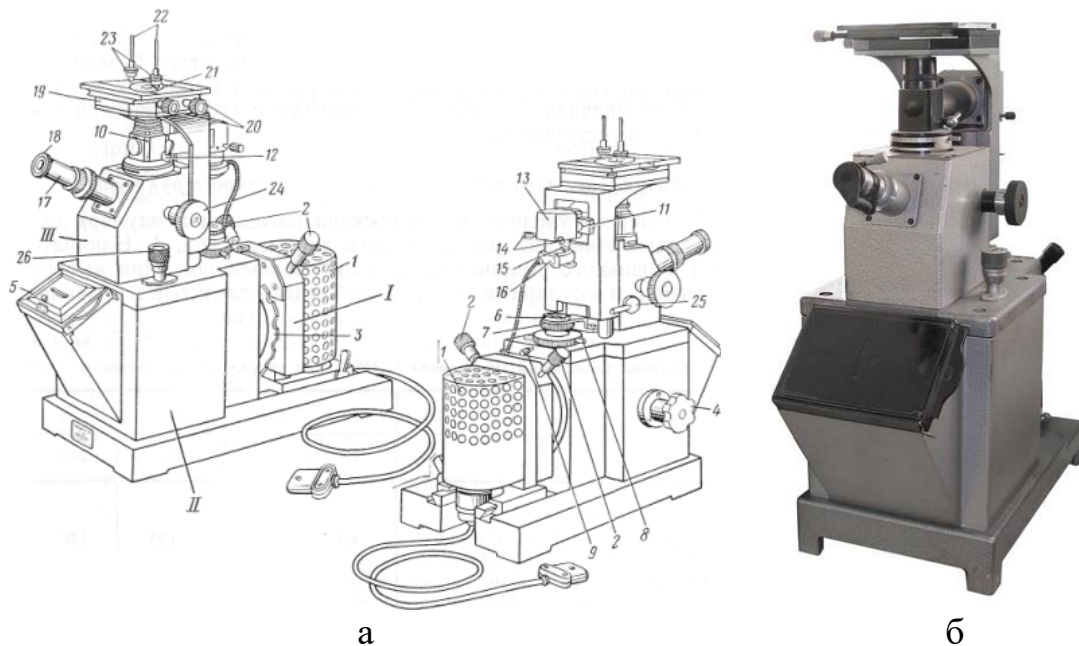


Рисунок 2.5 – Металографічний мікроскоп МІМ-7: схема (а), фото (б)

I. Освітлювач має ліхтар 1, всередині оболонки якого розташована лампа. Центрові гвинти 2 використовуються для вирівнювання центру нитки лампи з оптичною віссю колектора.

II. Корпус мікроскопа має: диск 3 з набором світлофільтрів; ручку 4 для перемикання фотоокулярів; установку для рамки 5 з матовим склом або касетою з фотопластинкою розміром 9x12 мм; апертурну діафрагму, закріплену під оправою освітлювальної лінзи 6; кільце з підшипником 7 для зміни діаметра діафрагми; гвинт 8, який обертається для зсуву діафрагми і створення нахилу випромінювання; гвинт 9 для фіксації обертання апертурної діафрагми.

III. Верхня частина мікроскопа має такі елементи.

Ілюмінаторний тубус 10, у верхній частині якого розташоване гніздо для об'єктива. На горловині ілюмінаторного тубуса розташовано рамку з лінзами 11 для роботи в світлому і темному полі, а також ручку 12 для увімкнення діафрагми 24 при роботі в темному полі; під оболонкою 13 – пентапризма. В нижній частині оболонки 13 розташовані центруючі гвинти 14 полевой діафрагми, діаметр якої можна змінити за допомогою ланцюга 15. Під конусом полевой діафрагми розташований фотозатвор 16. Візуальний (зоровий) тубус 17, в отвір якого вставляється окуляр 18. При візуальному спостереженні тубус вдвигають до кінця, а при фотографуванні висувають його до максимального положення.

Предметний столик 19, який може рухатися в обох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою гвинтів 20. У центрі предметного столика є вікно, в яке вставляють один з варіативних наповнювачів 21 із отворами різного діаметру. На предметному столику розташовані держави, складаються з вертикальних стовпців 22 і пружинних тримачів 23, якими мікрослинце притискають до наповнювача предметного столика. Макрометричний винт 24 використовується для переміщення предметного столика в вертикальному напрямку, що забезпечує грубе налаштування фокусу. Гвинтом затискання 25 фіксують певне положення предметного столика, щоб він не опускався самостійно. Для налаштування столика 19 на потрібну висоту на кронштейні столика є поділка, яку встановлюють проти точки, нанесеної на корпусі мікроскопа. Мікрометричний винт 26, за допомогою якого об'єктив переміщують у вертикальному напрямку і точно налаштовують фокус.

Загалом, металографічний метод залишається важливим інструментом для дослідження матеріалів та їхньої мікроструктури, а також забезпечення якості та безпеки виробів. З розвитком технологій та міждисциплінарним підходом він залишається актуальним та перспективним в багатьох галузях.

Вивчення структур проводилось на металографічному мікроскопі МИМ-7 при різних збільшеннях (100 – 200).

У підсумку, металографічний метод є важливим інструментом для дослідження мікроструктури матеріалів, але вимагає обережності та досвіду у підготовці зразків та інтерпретації результатів. Він дозволяє отримувати цінну інформацію про матеріали, їхні властивості та структуру, що важливо для багатьох галузей, включаючи металургію, інженерію та наукові дослідження матеріалознавства.

2.6 Визначення мікротвердості

Однією з найпоширеніших властивість, що визначають якість металів і сплавів, можливість їх застосування у різних конструкціях та за різних умов роботи, є твердість. Випробування на твердість виробляються частіше ніж визначення інших механічних характеристик металів: міцності, відносного подовження та ін.

Твердістю матеріалу називають здатність чинити опір механічному проникненню його поверхневий шар іншого твердого тіла.

Для визначення твердості поверхню матеріалу з певною силою вдавлюється тіло (індентор), виконане у вигляді сталевий кульки, алмазного конуса, піраміди або голки. За розмірами одержуваного на поверхні відбитка судять про твердість матеріалу. Таким чином, під твердістю розуміють опір матеріалу місцевої пластичної деформації, що виникає при впровадженні твердішого тіла – індентора. Залежно від способу вимірювання твердості матеріалу кількісно її характеризують числами твердості.

Існує кілька способів вимірювання твердості, що відрізняються характером впливу наконечника. Твердість можна вимірювати вдавлюванням, дряпанням та відскоком наконечника. Найбільше застосування одержало вимір твердості

вдавлюванням в метал індентора у вигляді кульки, конуса і піраміди (відповідно методи Брінелля, Роквелла і Віккерса).

Метод контролю мікротвердості є важливим інструментом для визначення механічних властивостей матеріалів на мікроскопічному рівні. Визначення твердості реалізують в декілька етапів [34]:

1. Підготовка Зразків. Зразки матеріалу повинні бути правильно підготовлені (відшліфовані та відполіровані) для забезпечення рівної поверхні і видалення будь-яких дефектів, що можуть впливати на результати вимірювань.

2. Навантаження та Вибір індентора. Вибір індентора (наприклад, діамантовий пірометр або Vickers індентор) залежить від матеріалу і орієнтовного діапазону мікротвердості. Навантаження також обирається відповідно до матеріалу та властивостей, які ви хочете виміряти.

3. Вимірювання Відбитку. Застосовується навантаження індентора на поверхню матеріалу для створення відбитку. Розміри відбитку вимірюються мікроскопом.

4. Розрахунок Мікротвердості. Використовуються спеціальні формули або діаграми для перетворення розмірів відбитку на значення мікротвердості. Розрахунки можуть варіюватися в залежності від використовуваного індентора та навантаження.

5. Статистичний Аналіз. Для отримання достовірних результатів важливо проводити декілька вимірювань на різних областях матеріалу та використовувати статистичні методи для аналізу результатів.

6. Документація та Звітність. Результати вимірювань, методи та умови тестування фіксуються в звіті. Це важливо для подальшого порівняння результатів та забезпечення відтворюваності експерименту.

Контроль мікротвердості є важливим етапом в дослідженні та виробництві матеріалів, дозволяючи отримати важливі відомості про їхні механічні властивості на мікрорівні, а як приклад ми можемо розглянути мікроскоп ПМТ-3 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Мікротвердомір ПМТ-3 [34]

Лінійні розміри відбитку зазвичай не перевищують десятків мікрометрів, а навантаження на індентор - несуттєві. Мікротвердомір ПМТ-3 включає загальний вигляд та схему механізму навантаження. Зображено основне обладнання, таке як чугунна основа, рукоятка для повороту столика, колонна для установки мікроскопа та інші компоненти.

Мікротвердомір ПМТ-3 розширює область застосування завдяки використанню додаткових змінних наконечників: чотирикутної піраміди Кнуппа з ромбічною основою для вимірювання мікротвердості тонких поверхневих шарів та особливо крихких матеріалів; трикутної піраміди Берковича для вимірювання мікротвердості твердих тіл.

Для вимірювання діагоналей відбитків використовують фотоелектричний окулярний мікрометр ФОМ-1-16 з автоматичною обробкою результатів або гвинтовий окулярний мікрометр МОВ-1-16х. Навантаження керується вручну. Мікроскоп мікротвердоміра дозволяє переглядати об'єкт дослідження в світлому та темному полі.

2.7 Визначення тріщиностійкості

Покриття з карбідів відрізняються високою мікротвердістю та проявляють підвищену мікрокрихкість.

Висока мікротвердість карбідних фаз, що визначається їхнім високим рівнем малодеформативного ковалентного зв'язку, пов'язана з тим, що дислокації в цих фазах майже не переміщуються при кімнатній температурі через великі значення напружень Пайєрлса-Набарро. Для переміщення дислокацій необхідно застосовувати напруження, які значно перевищують межу міцності карбідних фаз і призводять до їх розриву.

Під час випробувань на міцність карбідних фаз виявляється, що більш сприятливим механізмом деформації при кімнатній температурі є крихке руйнування, яке можна ефективно описати на основі положень статистичної теорії пружності, запропонованої Вейбулом. Незважаючи на це, експериментально встановлено наявність ознак мікротекучості в тугоплавких з'єднаннях з високою крихкістю. Це обумовлено переміщенням дислокацій на невеликі відстані в мікрооб'ємах, де досягнута висока концентрація напружень. Навіть серед карбідних фаз, які характеризуються високою мікрокрихкістю, ступінь їх пластичності значно різниться навіть у межах одного класу. Інформація про крихкість карбідних покриттів, як правило, має якісний характер і вказує на схильність карбідних фаз до відколювання від поверхні сталей під час виготовлення мікрошліфів або при застосуванні дифузійного шару.

Розглянута у роботі методика кількісної оцінки мікрокрихкості на поверхні вуглецевих і легованих сталей надає можливість визначити розподіл показників мікрокрихкості в межах товщини покриття. Також вона дозволяє встановити тенденції зміни мікрокрихкості в залежності від вмісту вуглецю в матеріалах основи та оцінити вплив термічної обробки. У визначенні мікрокрихкості використовується поняття схильності карбідних фаз до утворення мікротріщин під впливом концентратора напружень. Останнім в даному випадку є алмазна піраміда, що входить до складу індентора приладу ПМТ-3.

Мікрокрихкість покриттів була визначена за допомогою приладу ПМТ-3, обладнаного пристроєм MIKRON - gamma equipment&softwear (рис. 2.7). Для аналізу використовувалася крива "зусилля на інденторі - глибина проникнення індентора" (рис. 2.8), яка була отримана під час реєстрації процесу втиснення алмазного індентора.

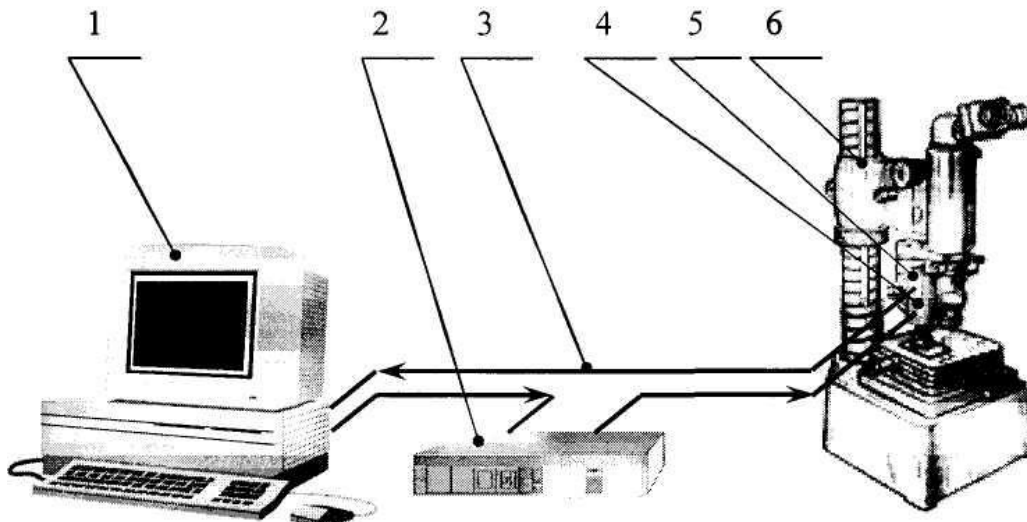


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд лабораторної установки MIKRON – gamma equipment & softwear для вимірювання мікротвердості шляхом неперервного втиснення індентору: 1 - ПЕОМ; 2 - Прилад регулювання навантаження; 3 – напрямок проходження сигналу; 4 - навантажувальний пристрій; 5 - індуктивний датчик; 6- прилад ПМТ-3.

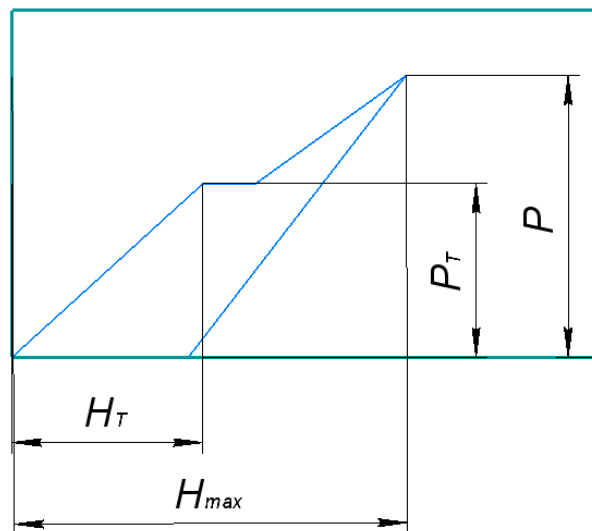


Рисунок 2.8 – Крива "зусилля на інденторі - глибина проникнення індентора", отримана за допомогою MIKRON-gamma equipment&softwear: P-максимальне навантаження на інденторі; P_T -навантаження утворення тріщини; H_T -глибина проникнення індентора в момент утворення тріщини; H_{max} -максимальна глибина проникнення індентора

У випадку утворення радіальної тріщини довжиною S на кривій "зусилля на інденторі - глибина проникнення індентора" має місце площадка при

навантаженні P_{TP} (рис. 2.3). Це дозволяє визначити мікроміцність матеріалу покриття ап за виразом.

$$\sigma_{II} = P_{TP} / C^2 \quad (2.4)$$

Використання σ_{II} , як характеристики мікроміцності, є цілком правомірним. Тріщина, як продовження діагоналі відбитку піраміди Віккерса, росте в тому випадку, якщо розклинюючі напруження перевищує межу міцності на відрив та зростає поки напруження на кінці тріщини не стане дорівнювати межі міцності на відрив. Встановлена таким чином характеристика дозволяє оцінити ефективну міцність, що визначається модулем пружності, поверхневою енергією матеріалу, міжплощинною відстанню, а також структурними характеристиками - розмірами та формою зерен.

Вимірювання довжини тріщини виконували за допомогою окуляр-мікрометра приладу ПМТ – 3. Схема вимірювання довжини тріщини приведена на (рис. 2.9).

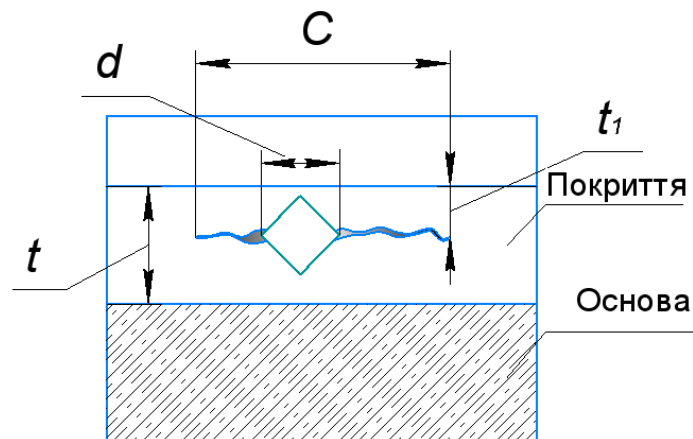


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання розміру тріщини, відстані від поверхні покриття до тріщини та товщини покриття: C - довжина утвореної тріщини; d - довжина діагоналі відбитка; t - товщина покриття; t_1 - відстань від поверхні покриття до тріщини

Ця методика дозволяє оцінити мікротвердість різних видів покриттів, не порівнюючи їх при різних навантаженнях, але при однаковому фізичному стані, а саме в той момент, коли ймовірність виникнення відбитків з тріщинами або без них однакова. Оскільки виникнення відбитку вказує на виявлення пластичних

властивостей карбідних фаз, а зона ушкодження навколо відбитку має характерний вигляд, показник крихкості свідчить про взаємозв'язок між крихкими і пластичними властивостями вивчених матеріалів. Також слід зазначити, що розташована на межі між "покриттям" і "основою" тріщина відображає ступінь адгезії між покриттям і основою. Проведені розрахунки за попередньо наведеною схемою дозволили встановити напруження відшарування покриття, які відображають рівень адгезії «покриття - основа» σ_a :

$$\sigma_a = P_t / d_2 \quad (2.5)$$

де P_t - навантаження утворення тріщини, що утворюється на межі розділу «покриття - основа»;

C_i - довжина утвореної тріщини.

В якості критерію мікрокрихкості покриття запропоновано використовувати безрозмірний показник що пов'язує навантаження утворення тріщин, зону ушкодження, максимальне навантаження на інденторі та відповідну величину діагоналі відбитку:

$$\gamma = \frac{C^2 \cdot P}{d^2 \cdot P} \quad (2.6)$$

де C - довжина радіальної тріщини;

P - максимальне навантаження на інденторі;

P_t - навантаження утворення тріщини.

Можна вважати, що показник мікрокрихкості є структурно чутливою характеристикою, що відображає емпіричну залежність між мікротвердістю і мікроміцністю карбідного покриття при певному напруженому стані.

Висновки

Встановлено, що сталь ХВГ є популярним матеріалом завдяки своїм механічним властивостям та відносно простій технологічній обробці. Завдяки високій міцності та зносостійкості, вона знаходить застосування в різних галузях промисловості, де необхідні надійні та міцні конструкційні матеріали. Однак, важливо враховувати конкретні вимоги до механічних властивостей при виборі сталі для конкретного застосування.

Описано методику випробувань, а саме рентгеноструктурний метод, який залишається найефективнішим засобом визначення атомної структури кристалів та допомагає розкрити багато важливих відомостей у хімії, біології, матеріалознавстві та інших галузях.

Наступним етапом дослідження буде металографічний метод який є одним із важливих підходів у вивченні структури матеріалів, зокрема металів та сплавів. Цей метод дозволяє отримувати інформацію про мікроструктуру матеріалів, що є важливими параметрами для оцінки їхніх властивостей та якості.

Останнім методом є проведення дюрOMETричного аналізу з навантаженням 100 г. Оскільки метод контролю мікротвердості є важливим інструментом для визначення механічних властивостей матеріалів на мікроскопічному рівні.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Фазовий склад покриттів

В результаті застосування рентгеноструктурного методу дослідження було встановлено, що після витримки досліджуваних сталей при температурі 1100 °С протягом 4 годин з'являються шари, які включають карбіди хрому, зокрема Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , і фазу σ (рис. 3.1). Виявлення наявності карбіду Cr_{23}C_6 у покриттях рентгенографічно підтверджується переважно в тих випадках, коли загальна товщина дифузійного шару перевищує 5 мкм.

Важливо відзначити, що в умовах, прийнятих для ведення процесу на поверхні сталі ХВГ, утворюються фази, які містять більше вуглецю, ніж склад покриттів, отриманих при насиченні тих самих сплавів за допомогою відповідних порошкових сумішей. Така динаміка пояснюється, в першу чергу, утворенням покриттів за активної участі як вуглецю, що входить до складу матриці, так і вуглецю, який утворює газову фазу.

Зона інтерметалідів формується завдяки дифузії заліза з основного матеріалу, яке проникає на поверхню через вже існуючий шар карбідів Cr_7C_3 та Cr_{23}C_6 . У [34] наведено результати досліджень фазового складу шарів гальванічного хрому на сталі ХВГ. Фазовий склад утвореної зони на межі сталь – гальванічний хром збігається із фазовим складом покриттів, отриманих за використання запропонованої технології. Це включає карбіди хрому Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 та α -фазу.

У таблиці 3.1 подано фазовий склад, період кристалічної ґратки і текстуру покриттів, що базуються на карбідах хрому на сталі ХВГ. Важливо відзначити, що період кристалічної ґратки карбідів хрому, отриманих у роботі, трошки менший, ніж в літературних даних. Ця відмінність пов'язана із утворенням твердих розчинів і заміщенням атомами заліза атомів хрому у вузлах кристалічної ґратки

карбідів, що підтверджується результатами мікрорентгеноспектрального методу дослідження.

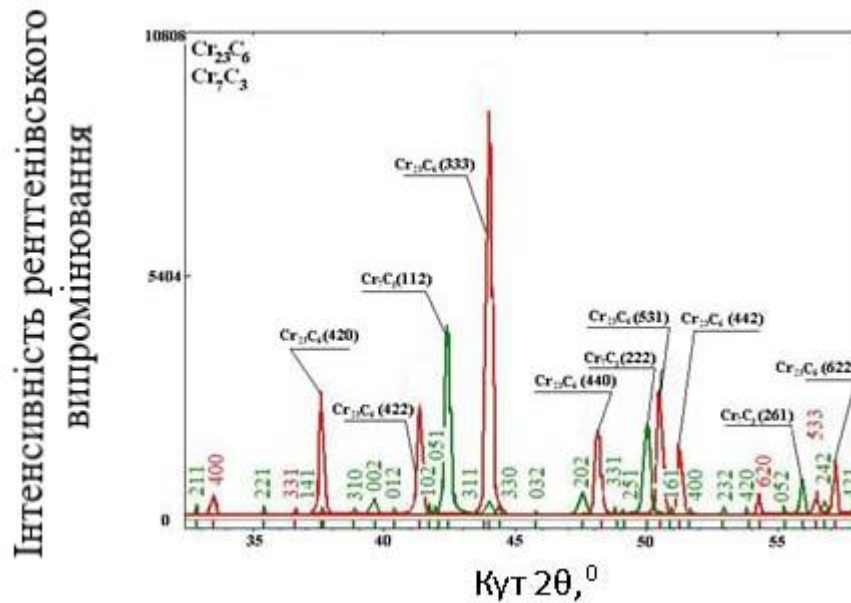


Рисунок 3.1 – Дифрактограми карбідів хрому в вихідному стані на сталі ХВГ

При проведенні рентгеноструктурного аналізу утворення оксидів хрому в покриттях не виявлено (у межах чутливості методу – 1% досліджуваної фази).

Таблиця 3.1

Фазовий склад, період кристалічної ґратки і текстура карбідних покриттів на основі карбідів хрому на сталі ХВГ

Фазовий склад	Період кристалічної ґратки, нм	Об'ємне співвідношення	Текстура
σ - фаза	-	-	-
Cr_{23}C_6	$a=1,0691$	66	[211]
Cr_7C_3	$a=0,7009$ $b=1,2172$ $c=0,4538$	34	[022]

3.2 Мікроструктура покриттів

Мікроструктура сталі з покриттям карбіду хрому представлена на рисунку 3.2. У металографічних зрізах покриття виглядають як світла смуга, яка залишається стійкою до травлення 3%-ним розчином азотної кислоти в етиловому спирті і розташована паралельно фронту дифузії. Границі покриття чітко виокремлюються від матеріалу основи.

Незалежно від марки сталі, безпосередньо під карбідним покриттям можна виявити тонку перехідну зону, яка відображається під час травлення у вигляді темного шару. Цей шар травиться в темний колір і також розташований паралельно фронту дифузії.

При нанесенні покриттів на сталь ХВГ (рис. 3.2) при температурі 1100 °С відзначається відсутність зневуглецевоїзони, за рахунок наявності деревного вугілля. Склад перехідної зони можна визначити лише за допомогою дюрOMETричного та локального мікрорентгеноспектрального аналізу з використанням діаграм рівноваги відповідних елементів.

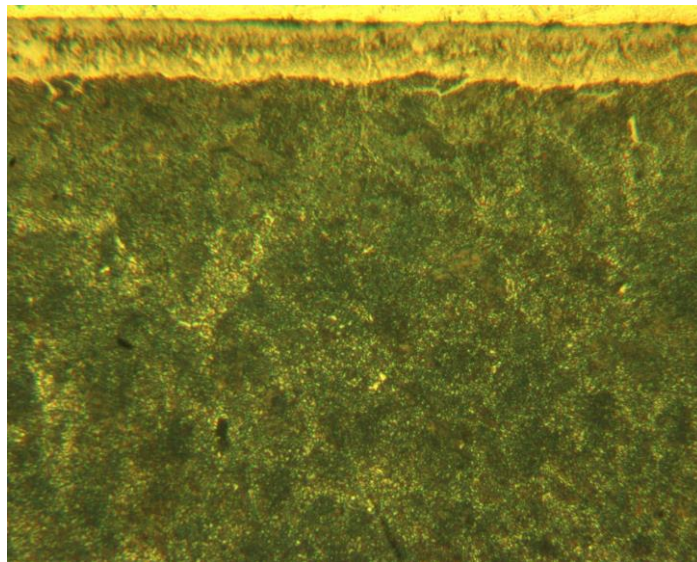


Рисунок 3.2 – Структура дифузійного шару на основі карбідів хрому на сталі ХВГ після травлення 3% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. $\times 500$

Великий потенціал вуглецю в активній газовій фазі, який виникає в умовах, характерних для процесу нанесення карбідних покриттів, ефективно зменшує прояв явища зневуглецювання поверхневих шарів оброблюваних сталей.

Це зниження ефекту зневуглецювання поверхневих шарів матеріалу основи пов'язане з особливостями процесу, що застосовується, які сприяють утворенню глибоких цементованих шарів ще до початку формування покриттів. Крім того, воно пов'язане з ростом самого покриття безпосередньо з газової фази. Визначення взаємного розташування фаз у покритті та їх зернятої структури можливе шляхом травлення отриманих дифузійних шарів розчином Муракамі. Покриття на основі карбідів хрому металографічно виявляються у виді світлої безпористої смуги (рис. 3.2). Травлення отриманих покриттів реактивом Муракамі з наступним травленням 3 %-ним розчином азотної кислоти в етиловому спирті дозволяє встановити ряд особливостей будови дифузійних шарів. В покритті, отриманих на досліджуваній сталі, можна виділити три шари, товщина яких приведена на рис. 3.3. Перший, розташований на зовнішній межі покриття, відповідає σ -фазі. Товщина шару цієї фази, що складається з рівновісних зерен, не залежить від хімічного складу сталей основи і складає від 1,5 до 3,5 мкм. Безпосередньо під шаром σ -фази розташовані ділянки карбідів хому типу Cr_{23}C_6 і Cr_7C_3 . Необхідно відзначити, що лінія поділу між карбідними фазами в покритті на основі карбідів хрому дуже розвинута, на відміну від лінії поділу покриття – основа, що має вид прямої лінії. На ділянці покриття на основі карбідів хрому типу Cr_7C_3 , що примикає безпосередньо до перехідної зони, можна виділити два шари відповідно з рівновісних і стовбчастих кристалів, розміри яких залежать від складу матеріалу що насичується. Між шаром σ -фази та шаром карбиду хрому типу Cr_7C_3 розташовано шар карбиду хрому типу Cr_{23}C_6 , зерна якого мають виражену стовбчасту або голчасту будову. Зона рівновісних кристалів відсутня. Відповідно до відомих даних, характерна стовпчаста форма кристалів обумовлена зміною співвідношення між числом центрів кристалізації і швидкістю росту карбідних фаз у процесі формування покриттів [34]. Слід зазначити, що стовпчастий характер структури карбиду хрому типу Cr_{23}C_6 не залежить від складу матеріалу основи.

Цей факт підтверджує вже відомий закон утворення карбідних покриттів, де напрямок формування стовбчастих кристалів карбідних фаз завжди співпадає з напрямком дифузійного потоку, як це визначено в дослідженні [35].

Таким чином, отримані в роботі дифузійні покриття по кількості шарів, що відрізняються по фазовому складу у карбідній зоні можна віднести до трьохшарових, оскільки в покриттях має місце утворення Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 і σ – фази.

Характерною рисою будови хромованих шарів типу Cr_7C_3 є різнозернистість. А саме наявність двох зон – зони рівновісних кристалів, розташованих безпосередньо поряд з межею поділу карбід - основа, і стовбчастих. У зоні переходу рівновісних кристалів у стовбчасті на фоні дрібних рівновісних зерен зустрічаються зерна, що перевищують їх по розмірах у 5 – 6 разів.

При міжкристалітному руйнуванні, що характерно для покриттів типу Cr_7C_3 при хромуванні, формується рельєф, що відповідає формі міжкристалітних границь. При цьому структури зламів добре збігаються з деталями будови окремих зерен, що встановлено металографічним методом, дозволяють оцінити розміри і форму зерен і більш точно визначити розташування і розміри пор.

Слід зазначити, що виділення надлишкових фаз на межах зерен не спостерігається. Крихке руйнування даних карбідів може бути пов'язано з сегрегацією по межах зерен домішок, яка протікає при зменшенні енергії в результаті переходу атомів домішки з обсягу зерна на поверхню.

Важливо враховувати, що ефект внутрішньої адсорбції інших атомів у прикордонних зонах має велике значення для матеріалів з великими кристалітами, порівняно з тими, у яких кристаліти мають менші розміри. Таким чином, крихкий міжкристалітний руйнування у цій групі покриттів визначається низькою коагуляцією кристалітів.

Межі кристалітів можуть стати або перешкодою для поширення тріщин, або сприяти їхньому розповсюдженню. Для текстурованих покриттів з вираженою стовпчастою структурою типу Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 зміна орієнтації окремих кристалітів виявляється невеликою. Таким чином, очікувати виникнення специфічних перешкод для поширення тріщин в напрямку осі текстури зерен або уздовж поверхні за транскристалітним механізмом не слід.

Рентгенівський аналіз дифракційних максимумів за методом обернених полюсних фігур підтвердив, що карбідні покриття мають змішану аксіальну кристалографічну текстуру типу [35] і [36]. Отримані результати збігаються з вже відомими даними щодо відповідності аксіальної кристалографічної текстури і металографічної текстури (морфологічної текстури). Це свідчить про те, що покриття зі стовпчастою структурою або окремі їхні ділянки із стовпчастим розташуванням кристалітів мають анізотропію властивостей.

Зауважимо, що порівняння ефективної енергії руйнування із значенням вільної поверхневої енергії для кристалографічних площин може надати оцінку анізотропії параметрів тріщиностійкості текстурованих покриттів. Проте інформація про ці характеристики обмежена і неповна для більшості тугоплавких з'єднань. Крім того, аксіальна кристалографічна текстура суттєво впливає на анізотропію меж пружності та схильність до поперечного ковзання, тобто на деформації до руйнування.

3.3 Мікротвердість

Однією з характеристик, що робить досліджувані карбідні покриття унікальними в даній роботі, є їх висока мікротвердість. Абсолютні значення цієї величини залежать від типу нанесеного карбіду та складу оброблювального матеріалу. Мікротвердість є відносно легко вимірюваною величиною. Однак діапазон значень мікротвердості, які можна знайти в літературі, є досить широким [37]. Це пояснюється різноманіттям факторів, які впливають на мікротвердість карбідів, таких як наявність області гомогенності з точки зору вуглецю, пористість полікристалічних структур, домішки заміщення та введення, мікрокрихкість, і структурні особливості полікристалічних об'єктів.

При вимірюванні мікротвердості карбідних покриттів було вирішено віддати перевагу аналізу поперечних зразків. Це надає можливість диференційованої оцінки твердості окремих фазових складників покриттів, а також можливість аналізу мікротвердості вздовж товщини дифузійної зони. Важливо відзначити, що експерименти з вимірюванням мікротвердості покриттів

невеликої товщини здійснювалися з деяким порушенням правил щодо співвідношення розмірів діагоналі відбитку алмазної піраміди та товщини покриття. Під час проведення вимірювань мікротвердості було виявлено утворення тріщин при нанесенні деяких відбитків, які були продовженням діагоналі відбитку. Отримані результати свідчать, що твердість карбідних покриттів, виміряна експериментально на зразках з відбитками і тріщинами, відрізняється і залежить від розміру тріщини при малих навантаженнях (0,1 – 0,2 Н) незначно. Однак значення твердості в цьому випадку помітно перевищує твердість, отриману при більших навантаженнях. Таким чином, вимірювання твердості проводилися при більших навантаженнях (0,5 – 2,0 Н), і вибір вимірювання відбитку індентора без тріщин був обраний[38].

Твердість карбідних покриттів істотно вища, ніж твердість основи (табл. 3.2). Крім того, під карбідним шаром існує тонка перехідна зона. Мікротвердість перехідної зони виявляється вищою, ніж у матеріалу основи – сталі (2,09 – 2,8 ГПа).

У роботі був визначений розподіл мікротвердості по товщині карбідних покриттів на сталі ХВГ. Вибір цієї сталі для дослідження обумовлений максимальною товщиною покриттів, що можуть утворюватися на цьому матеріалі.

Таблиця 3.2

Фазовий склад, товщина і властивості сталі ХВГ після хромовання ($T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4\text{ г}$)

№ п/п	Фазовий склад покриття	Товщина, мкм	Мікротвердість*, ГПа	Навантаження утворення тріщини, мН	Довжина тріщини S^* , мкм	Мікроміцність $\sigma_{\text{п}}^*$, МПа	Показник мікрокрихкості γ^*	Величина адгезійної взаємодії $\sigma_{\text{а}}$, ГПа
1	Cr_7C_3	10,0	17,1	70	29,0	981,9	16,5	15,8
2	Cr_{23}C_6	7,0	15,5	78	26,5	927,4	18,5	

* Значення наведено для центральної зони відповідної карбідної фази.

Максимальне значення мікротвердості покриттів відзначено в центральній зоні карбіду Cr_7C_3 , мінімальне в поверхневій зоні карбіду Cr_{23}C_6 і складає відповідно 17,2 і 15,0 ГПа.

Необхідно відзначити, що розподіл мікротвердості узгоджується зі зміною концентрації вуглецю по товщині покриття, отриманій у роботі якісним мікро-рентгеноспектральним аналізом.

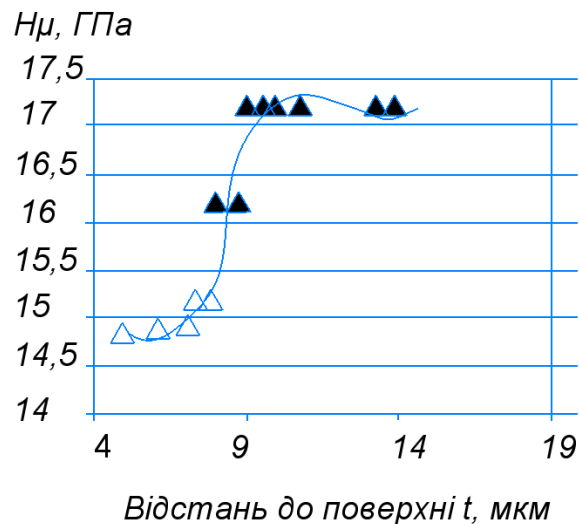


Рисунок 3.3 – Розподіл мікротвердості по товщині покриттів на основі карбідів хрому Cr_{23}C_6 (▲) та Cr_7C_3 (Δ) на сталі ХВГ.

3.4 Параметри тріщиностійкості карбідних покриттів

Як уже неодноразово було відзначено, дифузійні покриття на основі карбідів перехідних металів IV – VI груп періодичної системи, відрізняються високою твердістю, корозійною стійкістю і зносостійкістю [37-39]. Для оцінки і прогнозування експлуатаційної стійкості покриттів використовують різноманітні методи досліджень, у тому числі дослідження структури покриттів, розміру і форми зерен, пористості покриттів, а також такі механічні характеристики, як модуль пружності і мікротвердість.

Необхідно відзначити, що отримані в такий спосіб характеристики не дозволяють адекватно прогнозувати поведінку матеріалу покриття у заданих умовах експлуатації. У ряді робіт було показано, що для коректного опису процесів деформації і руйнування при контактній взаємодії необхідно

використовувати інші механічні характеристики матеріалів. Відомо використання характеристик тріщиностійкості для опису абразивного зношування, фреттинг втоми та руйнування при коченні твердих тіл [40]. Необхідно відзначити, що до виробів із захисними покриттями пред'являють додаткові вимоги. Крім вже згаданих властивостей, захисне покриття повинно забезпечувати високу механічну стабільність композиції «покриття – основа». Це можливо в тому випадку, якщо матеріал покриття будити мати достатній рівень механічних властивостей та адгезійної взаємодії з основою.

Досвід експлуатації покриттів на основі карбідів, нітридів, боридів показав, що крихкий матеріал легко піддається розтріскуванню і відшаруванню [41]. Процеси пошкоджуваності залежать від багатьох чинників і не піддаються апріорному опису. Слід зазначити, що в покриттях спостерігаються напруження, знак і величина яких залежать від багатьох чинників. Крім того, для морфології багатьох захисних покриттів характерна стовбчаста будова зерен з вираженою аксиальною кристалографічною текстурою і хімічною неоднорідністю по товщині. Незважаючи на значні успіхи механіки контактного руйнування, засоби визначення тріщиностійкості тонких покриттів не розроблені, відсутні методи підвищення диференціальної оцінки впливу мікроструктури, крихкості, твердості, міцності матеріалу покриття, його адгезії з основою на працездатність композиції «основа – покриття».

Як показали проведені дослідження, такі характеристики механічних властивостей, як навантаження утворення тріщини P_T , розмір тріщини C , мікроміцність σ_{II} і показник мікрокрихкості u залежать від типу карбідної фази і складу матеріалу основи (рис. 3.4). Дослідним шляхом показано, що форма тріщин, що утворюються, не залежить від типу карбідної фази й умов індентування (навантаження і швидкості індентування, кутів повороту індентора та ін.). Форма тріщини визначається характером наявних у покритті напружень і залежить від виду термічної обробки, якому піддавалися покриття до дослідження тріщиностійкості.

У роботі встановлено, що навантаження утворення тріщини P_T , що відбиває спроможність матеріалу покриття до пружно-пластичної деформації в зоні

контакту з індентором до моменту початку росту тріщини, залежить від багатьох чинників.

Розміри радіальної тріщини C обумовлені структурою, складом, напруженим станом покриття. Ріст тріщини починається в той момент, коли релаксаційні процеси в зоні контакту індентор - покриття вичерпано. Покриття $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 характеризуються високою мікроміцністю і низьким показником мікрокрихкості.

Для оцінки однорідності параметрів P_T і C в роботі визначали коефіцієнти варіації даних величин. Наприклад для фази Cr_7C_3 в досліджуваних покриттях на сталі ХВГ (рис. 3.4) середнє значення P_T і C склали відповідно 0,7 Н і 33,0 мкм, коефіцієнти варіації відповідно рівні 0,39 і 0,10. Таким чином значення розмірів радіальних тріщин на даному типі покриття більш однорідні по розміру тріщини, чим значення P_T . Навантаження утворення тріщини P_T , відображує граничну спроможність матеріалу покриття до пружно-пластичної деформації в момент зародження і початку росту тріщини, істотно залежить від орієнтації окремих зерен і неоднорідності пластичної деформації в зоні контакту покриття – індентор. Розміри радіальної тріщини C відбивають вплив структури, складу, напруженого стану на крихку міцності покриття.

Для досліджуваних у роботі карбідів характерні високі значення напруг Пайерлса і малої рухливості дислокацій при низьких температурах іспитів. Це припускає незначну і нерівномірну в зоні відбитка за рахунок росту щільності дислокацій при пластичній деформації, а також високу крихкість матеріалу. Причиною розкиду значень P_T можуть бути встановлені в роботі особливості будови покриттів, наявність морфологічної й аксиальної кристалографічної текстур, дрібнозернистістю разом з різнозернистістю. У дрібнозернистій структур генерування дислокацій внутрішньозеренним джерелами або межами зерен, як і ковзання дислокацій, маловірогідні.

Підвищення вмісту вуглецю в досліджуваних сталях від сталі 20 до сталі ХВГ поряд із підвищенням твердості карбідних фаз Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, супроводжується зміною мікроміцності і показника мікрокрихкості (рис. 3.4). При цьому максимальна мікроміцність і показник мікрокрихкості були встановлені для фази $Cr_{23}C_6$ на сталі 20. У роботі була встановлена зміна навантаження

утворення тріщини, довжини утвореної тріщини, мікроміцності і показника мікротвердості по товщині карбідних покриттів на сталі ХВГ.

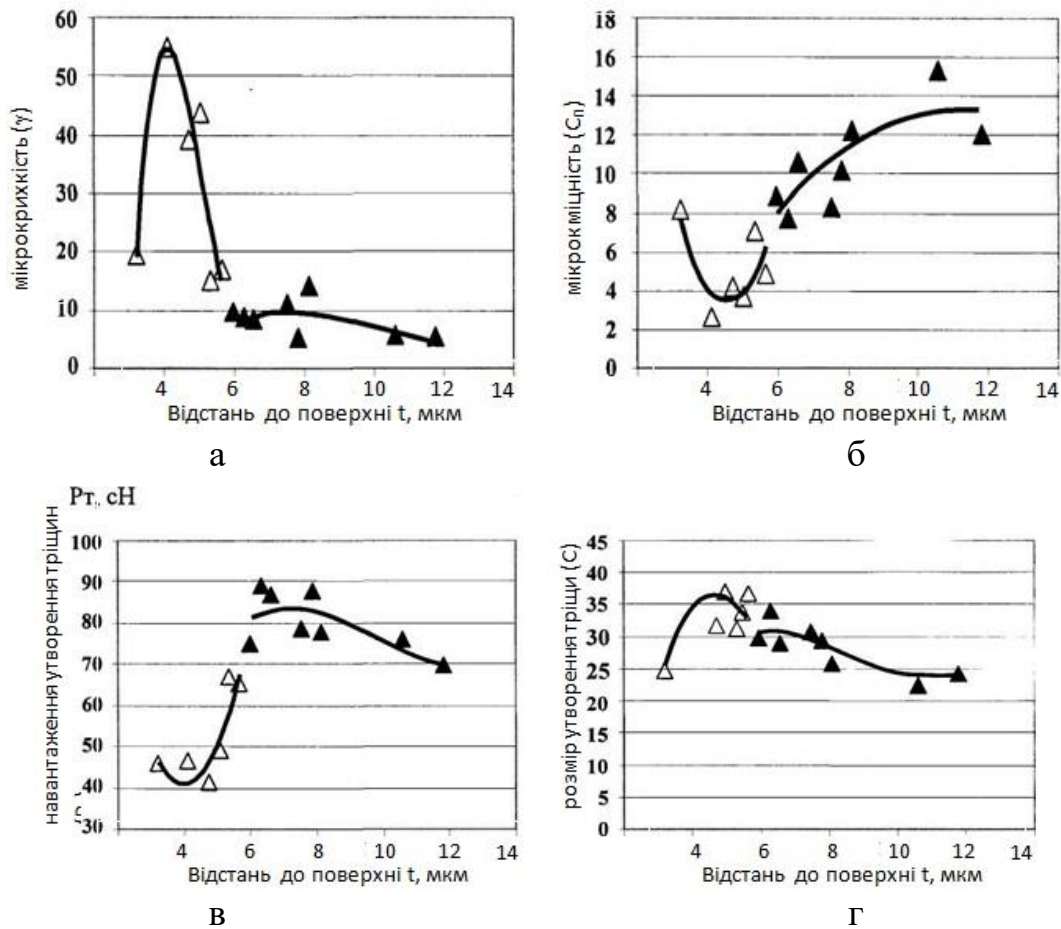


Рисунок 3.4 – Розподіл показника мікротвердості (а), мікроміцності (б), навантаження утворення тріщини (в) та розміру утвореної тріщини (г) по товщині покриття на основі карбідів хрому Cr₂₃C₆ (▲) та Cr₇C₃ (Δ) на сталі ХВГ

Підвищення вмісту вуглецю в досліджуваних сталях від сталі 20 до сталі ХВГ поряд із підвищенням твердості карбідних фаз Cr₇C₃, Cr₂₃C₆, супроводжується зміною мікроміцності і показника мікротвердості (рис. 3.4). При цьому максимальна мікроміцність і показник мікротвердості були встановлені для фази Cr₂₃C₆ на сталі 20. У роботі була встановлена зміна навантаження утворення тріщини, довжини утвореної тріщини, мікроміцності і показника мікротвердості по товщині карбідних покриттів на сталі ХВГ.

Звертає на себе увага той факт, що такі характеристики тріщиностійкості, як довжина тріщини, що утвориться, С (рис. 3.4), що відображає вплив на тріщиностійкість структурних характеристик матеріалу і напруженого стану покриття, а також мікроміцності матеріалу покриття приймають максимальне

значення в центральній зоні карбідного шару. Така закономірність очевидно пов'язана з проявом крайового ефекту при наближенні до зовнішньої межі покриття, а також з впливом основи при наближенні до внутрішньої межі покриття.

Розподіл навантаження утворення тріщини P_T визначається процесами, що протікають у зоні контактної взаємодії «індентор – покриття» і залежить від типу карбідної фази. Максимальне значення P_T для покриттів відзначене в центральній зоні покриттів поблизу межі поділу карбідних фаз. Розподіл мікроміцності покриттів має розрив при переході через межу поділу $Cr_{23}C_6 - Cr_7C_3$, що пов'язано з неможливістю точного виміру значення показників тріщиностійкості на межі поділу карбідних фаз. Розподіл мікроміцності у межах окремо взятої карбідної фази носить параболічний характер.

Екстремальні значення мікроміцності (мінімальне значення для фази $Cr_{23}C_6$ і максимальне для Cr_7C_3) спостерігається біля межі поділу відповідних карбідних шарів (рис. 3.4), що пов'язано з особливостями будови досліджених карбідних фаз і розподілом напружень в покриттях. Характер розподілу показника мікрокрихкості, що є ефективною характеристикою яка відбиває взаємозв'язок між мікротвердістю і мікроміцністю для визначеного структурного і напруженого стану дифузійного шару, носить аналогічний характер (рис. 3.4).

Експериментально доведено, що тріщина виникає у вершині відбитка алмазного індентора і росте уздовж продовження його діагоналі. Руйнування стовбчатих кристалів фаз $Cr_{23}C_6$ і Cr_7C_3 відбувається по транскристалітному механізму. Вихід тріщини на поверхню малоімовірний внаслідок дії в покритті стискуючих напружень. Потрібно відзначити, що при навантаженні на інденторі приладу ПМТ-3, що не перевищувало 1Н, при вимірі твердості в центральній зоні покриття частка відбитків із тріщинами складає 45 – 50%.

Параметри, що характеризують тріщиностійкість покриттів наведено в таблиці 3.2.

Висновок

В результаті застосування рентгеноструктурного методу дослідження було встановлено, що після витримки досліджуваних сталей при температурі 1100 °С протягом 4 годин з'являються шари, які включають карбіди хрому, зокрема Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , і фазу σ (рис. 3.1). Виявлення наявності карбіду Cr_{23}C_6 у покриттях рентгенографічно підтверджується переважно в тих випадках, коли загальна товщина дифузійного шару перевищує 5 мкм.

При нанесенні покриттів на сталь ХВГ при температурі 1100 °С відзначається відсутність знеуглецевоїзони, за рахунок наявності деревного вугілля. Склад перехідної зони можна визначити лише за допомогою дюрOMETричного та локального мікрорентгеноспектрального аналізу з використанням діаграм рівноваги відповідних елементів.

Максимальне значення мікротвердості покриттів відзначено в центральній зоні карбіду Cr_7C_3 , мінімальне в поверхневій зоні карбіду Cr_{23}C_6 і складає відповідно 17,2 і 15,0 ГПа.

Підвищення вмісту вуглецю в досліджуваних сталях від сталі 20 до сталі ХВГ поряд із підвищенням твердості карбідних фаз Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , супроводжується зміною мікроміцності і показника мікрокрихкості (рис. 3.4). При цьому максимальна мікроміцність і показник мікрокрихкості були встановлені для фази Cr_{23}C_6 на сталі 20. У роботі була встановлена зміна навантаження утворення тріщини, довжини утвореної тріщини, мікроміцності і показника мікрокрихкості по товщині карбідних покриттів на сталі ХВГ.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Методика економічної доцільності кваліфікаційної роботи

У сучасному світі, де конкуренція на ринку надто висока, важливо забезпечити високу якість та довговічність виробів. Хромування виступає як ефективний захисний механізм, який значно збільшує термін служби металевих конструкцій, автодеталей, інструментів та інших виробів. Враховуючи підвищений рівень вимог споживачів до якості та тривалості, використання хромування набуває все більшого значення в різних галузях виробництва.

Хромування, або нанесення захисного хромового покриття на металеві поверхні, визнане одним із найефективніших методів захисту від корозії та інших впливів навколишнього середовища. Цей процес забезпечує не лише естетичний зовнішній вигляд виробів, але і підвищує їхню тривалість та стійкість до впливу різних агресивних факторів [41].

Розділ, присвячений економічній доцільності хромування, має на меті аналіз та обґрунтування вигідності цього процесу в контексті виробництва та використання металевих виробів, розглянемо ключові аспекти, які визначають економічну вигідність хромування та його вплив на економіку підприємств. Метою даного розділу є аналіз економічних переваг хромування, визначення його впливу на виробничі процеси та підприємницьку діяльність.

Запропонований метод істотно сприяє подовженню терміну служби швидкозношуваних деталей у вузлі або машині, що завжди є актуальною проблемою для вирішення надійності та довговічності механізмів. Сучасні методи для досягнення цієї мети, такі як плазмове наплавлення, лазерна обробка та інші методи енергетичного впливу на поверхню, часто вимагають високої витрати на обладнання та кваліфікацію персоналу.

Даний спосіб зміцнення вирізняється тим, що він дозволяє проводити зміцнення деталей, використовуючи існуюче обладнання та кваліфікацію працівників, зменшуючи тим самим витрати на обслуговування та ремонт.

Використання методу ремонтних розмірів дозволяє подовжити термін служби деталей під час їх подальшого відновлення під час експлуатації.

Хромування також призводить до значного зростання міжремонтного інтервалу та створення нових робочих місць для виробництва чи ремонту деталей, що допомагає зекономити ресурси та сприяє сталому використанню природних ресурсів.

4.2 Розрахунок показників економічної ефективності

У даному розділі ми проведемо розгляд ключових аспектів розрахунку економічної доцільності застосування процесу хромування для поліпшення властивостей сталі ХВГ. Нижче представлений загальний підхід до розрахунків.

4.2.1. Витрати на Хімічні Реагенти та Матеріали.

Враховуючи важливість цього етапу, ми розглянемо основні складові витрат та фактори, які можуть впливати на загальні витрати. Обчислимо витрати на хімічні реагенти, які використовуються під час процесу хромування, враховуючи вартість хромових сполук та інших матеріалів, необхідних для виготовлення хромованого шару.

Перш за все, ідентифікуємо хімічні реагенти, які використовуються в процесі хромування. Це може включати хромові сполуки, кислоти, основи та інші хімічні речовини, необхідні для створення хромованого шару на поверхні сталі.

Оцінимо необхідну кількість кожного реагенту відповідно до технологічних вимог та проектних розрахунків. Розраховуючи споживання реагентів на одиницю об'єкта або масу сталі ХВГ, яка підлягає хромуванню. Вартість кожного хімічного реагенту на основі поточних ринкових цін та умов постачання. Зазначивши ціни для кожного компонента. Розглянемо використання допоміжних матеріалів, таких як розчинники, абразиви, фільтри та інші, які можуть бути необхідні для правильного застосування хромування. Враховуючи їхню вартість та кількість.

Врахуємо можливі витрати на утилізацію хімічних відходів, що виникають під час процесу хромування. Дотримання екологічних стандартів може вимагати спеціальних заходів з утилізації.

Витрати на системи безпеки та контролю як частину процесу обробки, забезпечуючи безпеку персоналу та відповідність нормативам.

Розрахунок споживання електроенергії, зокрема під час енергозатратних етапів процесу хромування.

Операційні Витрати.

Розглянемо різні аспекти витрат, пов'язаних із забезпеченням нормального функціонування та технічного обслуговування обладнання для процесу хромування сталі ХВГ. Цей розділ важливий для забезпечення ефективності та надійності виробничого процесу. Оцінка витрати на регулярне обслуговування та технічне обслуговування устаткування, включаючи роботи з заміни деталей, змащення, калібрування та інші процедури для забезпечення безперебійної роботи обладнання.

Врахування витрати на оплату праці працівників, які забезпечують роботу обладнання для хромування, можливості проведення навчань для персоналу для підвищення ефективності роботи та попередження аварій.

Витрати на встановлення та обслуговування систем моніторингу та контролю, які дозволяють вчасно виявляти та вирішувати потенційні проблеми в роботі обладнання. Витрати на заходи з безпеки та охорони здоров'я, такі як закупівля необхідних засобів індивідуального захисту, тренінги з безпеки та обладнання для запобігання аваріям.

Можливі витрати на відновлення роботи обладнання у випадку аварій або потреби у ремонті. Розроблення плану управління аварійними ситуаціями та визначення можливих витрати на цей процес.

Операційні витрати, що впливають на ефективність виробничого процесу та робочий персонал. Здійсніть аналіз для виявлення можливостей оптимізації та зменшення витрат.

Враховуючи всі ці аспекти операційних витрат, ви зможете створити повний образ витрат на управління та технічне забезпечення процесу хромування для сталі ХВГ.

Порівняльний Аналіз:

Проведемо порівняльний аналіз вартості хромування із іншими методами поверхневої обробки сталі ХВГ, зокрема з фосфатуванням і нітруванням.

1. Хромування:

- *Технічні Переваги:* Висока міцність, стійкість до корозії та зносостійкість.
- *Термін Служби:* Довгий термін служби, особливо у вимогливих умовах.
- *Вартість Матеріалів:* Висока вартість хромувального обладнання та реагентів.
- *Технічні Витрати:* Потребує значних витрат на технічне обслуговування та утилізацію відходів.

2. Фосфатування:

- *Технічні Переваги:* Добра адгезія, стійкість до корозії.
- *Термін Служби:* Середній термін служби.
- *Вартість Матеріалів:* Менше витрат на матеріали порівняно з хромуванням.
- *Технічні Витрати:* Зазвичай менше витрат на утилізацію та технічне обслуговування.

3. Нітрування:

- *Технічні Переваги:* Покращена міцність та стійкість до зносу.
- *Термін Служби:* Довгий термін служби при правильній експлуатації.
- *Вартість Матеріалів:* Менше витрат на реагенти порівняно з хромуванням.
- *Технічні Витрати:* Може вимагати точної регуляції процесу та уваги до безпеки.

Порівняльний Аналіз:

- *Вартість:* Хромування виходить дорожчим через високу вартість матеріалів та технічних витрат.
- *Технічні Властивості:* Хромування має високі технічні характеристики, але фосфатування та нітрування можуть бути ефективними у відповідних сценаріях.

- *Екологічні Аспекти:* Фосфатування та нітрування можуть бути менш шкідливими для навколишнього середовища порівняно з хромуванням.

Враховуючи всі ці фактори, вибір методу поверхневої обробки сталі ХВГ повинен базуватися на конкретних вимогах застосування, бюджеті та стратегії управління витратами.

Цей аналіз вимагає вивчення деталей технологічного процесу, врахування витрат на виробництво та аналізу ринкових умов. Рекомендується консультиватися з економістами та інженерами, щоб отримати точний розрахунок економічної доцільності в умовах конкретного виробництва.

4.3 Розрахунок економічної вигоди проекту

В даному розділі ми проведемо ретельний розрахунок ключових показників економічної ефективності впровадження хромування для сталі ХВГ. Для цього ми врахуємо різні фактори, такі як витрати на реагенти, енергію, операційні витрати, покращення властивостей продукції та інші економічно значущі параметри.

Процес – хромування, заготовка масою 0,5 кг, сталь ХВГ.

Розрахунок проводиться для Tehno-chrome обладнання, яке використовується для наступних видів поверхневого покращення: хромування у пропонованому варіанті. Привести технологічні характеристики обладнання для розрахунку.

Вартість установки для хромування "Tehno-chrome" 100000 грн.

4.3.1 Розрахунок технологічної собівартості

Вартість матеріалу виробу:

$$V_M = (Q \cdot C_M) \cdot a = (0,5 * 243) * 1,4 = 170,1$$

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

C_M – ціна матеріалу (заготовки), грн.

a – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку

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

$$Z_{p6} = C_r * K_1 * K_2 * t * K_{mn} * n = 54 * 1,5 * 1,375 * 20 * 1 * 1 = 2227,5$$

$$Z_{pnp} = C_r * K_1 * K_2 * t * K_{mn} * n = 54 * 1,3 * 1,375 * 40 * 1 * 2 = 7722$$

де C_r – годинна тарифна ставка, грн.;

K_1 - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату;

K_2 - коефіцієнт, що враховує багатOVERстатне обслуговування;

$t_{шт}$ - штучний час на операцію, хв.;

K_{mn} - коефіцієнт, що враховує обслуговування кількома одиницями обладнання;

n - кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Амортизаційні відрахування по обладнанню, віднесені на дану операцію:

$$A_6 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{рiч} \cdot 100} = \frac{100000 * 1,15 * 1}{50000 * 100} = 0,023$$

$$A_{np} = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{рiч} \cdot 100} = \frac{200000 * 1,1 * 2}{50000 * 100} = 0,088$$

де S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.;

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування;

n - кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.;

$N_{рiч}$ - річна програма деталей, шт.

Витрати на ремонт обладнання:

$$B = A_6 \cdot K = 0,023 * 180\% = 0,0414$$

$$B = A_{np} \cdot K = 0,088 * 160\% = 0,1408$$

де K - коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань;

Витрати на силову електроенергію з даної операції:

$$B = [K_1 \cdot N_y \cdot (t_{шт} - t_{маш}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{маш}] \cdot 60^{S_2},$$

$$B_B = [0,25 \cdot 2 \cdot (20-15) + 0,8 \cdot 2 \cdot 15] \cdot 60^{2,64} = 131087$$

$$B_{Гр} = [0,25 \cdot 2,5 \cdot (40-30) + 0,5 \cdot 2,5 \cdot 30] \cdot 60^{2,64} = 216418$$

де N_y – сумарна встановлена потужність електродвигунів одиниць обладнання, кВт;

$t_{маш}$ – машинний час, хв;

K_1 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при небажаній роботі обладнання;

K_2 – коефіцієнт використання встановленої потужності устаткування в процесі термообробки;

S_e – вартість одного кВт/год. електроенергії, грн.;

Витрати на допоміжні матеріали, віднесені на операцію укрупнено приймаємо:

$$B_M = \frac{M \cdot n}{N_{річ}} =$$

$$B_{MB} = 0,001$$

$$B_{MГр} = 0,002$$

де M – річні витрати на допоміжні матеріали;

n - кількість одиниць обладнання, шт.;

$N_{річ}$ - річна програма деталей, шт.

Витрати на утримання виробничої площі, віднесені на операцію:

$$З_{п} = \frac{S_{пл} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{річ}}$$

$$Z_6 = 0,144$$

$$Z_{пр} = 0,288$$

де $S_{пл}$ - площа, 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 змістом одного метра квадратного виробничої площі, грн.;

Зведемо раніше обраховані результати в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Технологічна собівартість одиниці виробу, грн.

Найменування елементів витрат	Базовий варіант	Пропонований варіант
Основна та додаткова зарплата	2227,5	7722
Амортизаційні відрахування	0,023	0,088
Витрати на ремонт устаткування	0,0414	0,1408
Витрати на силову електроенергію	131087	216418
Витрати на утримання виробничої площі	0,144	0,288
Разом	133314,7	224140,5

4.3.2 Розрахунок накладних витрат

Загальновиробничі витрати:

$$B_{заг} = \left(\frac{Z_p}{K_1 * K_2} \right) * 1,2$$

$$B_{загБ} = 64637$$

$$B_{загПр} = 125,393$$

де K1 - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату;
K2 - коефіцієнт, що враховує багатостаттєве обслуговування ;

Виробнича собівартість:

$$C_{\text{вир}} = C_{\text{м}} + Z_{\text{р}} + A_0 + P + \Xi + B_{\text{м}} + Z_{\text{п}} + C_{\text{заг}}$$

$$C_{\text{вирБ}} = 2227,5 + 0,023 + 0,0414 + 131087 + 0,144 + 133314,7 = 266629,4$$

$$C_{\text{вирПр}} = 7722 + 0,088 + 0,1408 + 216418 + 0,288 + 224140,5 = 448281$$

Позавиробничі витрати:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{вир}} \cdot 0,03$$

$$C_{\text{вБ}} = 266629,4 \cdot 0,03 = 7998,9$$

$$C_{\text{вПр}} = 448281 \cdot 0,03 = 13448,43$$

Повна собівартість:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{вир}} + C_{\text{в}}$$

$$C_{\text{пБ}} = 274628,3$$

$$C_{\text{пПр}} = 461729,43$$

Прибуток:

$$\text{ПР} = 0,3 \cdot C_{\text{п}}$$

$$\text{ПР}_{\text{Б}} = 0,3 \cdot 274628,3 = 82388,5$$

$$\text{ПР}_{\text{Пр}} = 0,3 \cdot 461729,43 = 138518,8$$

Оптова ціна:

$$Ц_{\text{оп}} = C_{\text{п}} + \text{ПР}$$

$$Ц_{\text{опБ}} = 274628,3 + 82388,5 = 357016$$

$$Ц_{\text{опПр}} = 461729,43 + 138518,8 = 600248$$

Роздрібна ціна:

$$C_p = 1,2 \cdot C_{оп}$$

$$C_{pБ} = 1,2 \cdot 357016 = 428419,2$$

$$C_{pПp} = 1,2 \cdot 600248 = 720297,9$$

На підставі отриманих даних можна зробити відповідні висновки.

Економічний ефект, програма випуску на рік = 187101,1 (грн.)

Таблиця 4. 2.

Показник	Базовий варіант, грн	Пропонований варіант, грн
1. Технологічна собівартість одиниці виробу		
1.1 Основна і додаткова заробітна плата робітника	2227,5	7 722
1.2 Амортизаційні відрахування по обладнанню	0,023	0,088
1.3 Витрати на ремонт обладнання	0,0414	0,1408
1.4 Витрати на силову електроенергію	131087	216 418
1.5 Витрати на утримання виробничої площі	0,144	0,288
Повна собівартість	274628,3	461 729,43
Ціна виробу	-	5,24
Програма випуску за рік, шт	50000	50 000
Річний економічний ефект	-	187 101,1

Узагальнення економічного розрахунку хромування сталі в вакуумі відображає ефективність цього процесу з точки зору довговічності та можливості відновлення поверхні. Хромування сталі в вакуумі не лише забезпечує високу міцність та стійкість до корозії, але й сприяє подовженню терміну служби виробів.

Головний прибуток у цьому процесі не виявляється при самому виготовленні, а виникає внаслідок тривалого використання деталей, підкреслюючи можливість відновлення поверхні. Це дозволяє зменшити витрати

на постійні заміни та ремонти, збільшуючи ефективність та економічну вигоду для підприємства.

Такий підхід забезпечує оптимальне співвідношення між якістю обробки, тривалістю служби та економічністю виробництва, що робить хромування сталі в вакуумі привабливим вибором для підприємств, які цінують довговічність та високу якість своїх виробів.

Висновки

Хромування сталі в вакуумі підвищує міцність та стійкість матеріалу до корозії, що призводить до значного збільшення терміну служби виробів. Це сприяє економії на постійних витратах на заміну та ремонт, що визначає економічну вигоду на довгостроковій перспективі.

Унікальна особливість хромування полягає в можливості відновлення поверхні виробів. Це не лише забезпечує подовження їхнього життя, але також дозволяє ефективно використовувати ресурси, оскільки витрати на ремонт та відновлення набагато менше, ніж на виготовлення нових деталей.

Застосування хромування сталі в вакуумі впливає на оптимізацію виробництва через зменшення потреби у частій заміні обладнання та зниження витрат на ремонтні роботи. Це може сприяти підвищенню загальної продуктивності підприємства.

З урахуванням довговічності та можливості відновлення, загальні витрати на утримання обладнання та виробів істотно зменшуються. Це робить хромування сталі в вакуумі вигідним з точки зору економії ресурсів та фінансової стійкості підприємства.

Отже, застосування хромування сталі в вакуумі не лише підкреслюється як засіб покращення якості та зовнішнього вигляду виробів, але і як стратегічний економічний крок, що приводить до значних фінансових переваг на тривалий термін.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

Охорона праці є ключовим аспектом будь-якого виробничого процесу, спрямованого на забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Одним із важливих етапів виробничої діяльності, де особлива увага приділяється охороні праці, є процес хромування. Хромування є поширеним методом обробки поверхонь, який забезпечує не лише естетичний вигляд виробів, але й захист від корозії.

Проте, разом із великою кількістю переваг, пов'язаних із використанням хромування, на фоні стоїть ряд питань, пов'язаних із забезпеченням безпеки працівників, які беруть участь у цьому процесі. У зв'язку з високим токсичним потенціалом хімічних речовин, використовуваних у процесі, а також з випаровуванням та взаємодією хімічних компонентів у виробничому середовищі, важливо вдосконалити та ефективно впроваджувати заходи з охорони праці.

В даному контексті, обговорення та ретельний аналіз системи охорони праці під час хромування стає невід'ємною частиною виробничого процесу. Взяті заходи щодо мінімізації ризиків для працівників, визначення ефективних методів захисту від токсичних речовин та розроблення інноваційних систем моніторингу та контролю стану безпеки праці – все це визначається як першочергові завдання у сфері охорони праці.

Метою аналізу системи охорони праці під час хромування, виявлення основних ризиків для здоров'я працівників та розробка рекомендацій щодо подальшого вдосконалення безпеки праці в даній галузі. Застосування цих заходів може сприяти не тільки забезпеченню найвищого рівня безпеки працівників, але й покращенню ефективності виробничого процесу в цілому[40].

5.1 Загальні вимоги

Україна має чітко визначену законодавчу базу, що регулює питання охорони праці. "Закон України про охорону праці" є основним документом, який

установлює права та обов'язки роботодавців і працівників у сфері безпеки та охорони праці. Закон визначає ключові принципи, а також відповідальність сторін за дотримання норм безпеки [41].

Для детального визначення вимог до організації робочих місць, засобів індивідуального захисту, апаратури та інших аспектів охорони праці використовуються національні стандарти та нормативи. Ці документи є основою для розробки внутрішніх нормативів підприємства.

Згідно із законодавством, кожне підприємство повинно розробляти та вести документацію з охорони праці. Це включає в себе інструкції з безпеки, журнали обліку травматизму, аналізи ризиків та інші документи, що стосуються безпеки праці.

Роботодавці зобов'язані забезпечити обов'язкову підготовку та навчання працівників з питань безпеки та охорони праці. Це включає навчання правилам та методам безпеки, а також використання засобів індивідуального захисту [42].

Для забезпечення безпеки працівників проводяться регулярні медичні огляди. Ці огляди дозволяють визначити придатність працівників до виконання конкретних видів робіт та забезпечують їхнє здоров'я та безпеку.

Державна служба з питань праці має право проводити інспекції на підприємствах з метою перевірки виконання вимог законодавства з охорони праці та нормативів. Інспекції сприяють виявленню порушень та вжиттю заходів щодо їх усунення.

Відповідальність за дотримання вимог безпеки на роботі несуть як роботодавець, так і працівники. Роботодавець повинен забезпечити безпечні умови праці, а працівники мають право відмовитися від виконання робіт у разі порушення вимог безпеки.

Ці аспекти взаємодії становлять основу системи охорони праці на підприємстві, забезпечуючи безпеку та здоров'я працівників [43].

5.2 Вимоги при виробничому процесі

Важливою частиною охорони праці є організація робочих місць з урахуванням вимог безпеки. Кожне робоче місце повинно бути обладнане

необхідними засобами індивідуального захисту, а також мати відповідне освітлення та вентиляцію [44].

У виробничих процесах, де існує потенційна небезпека, працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Це може включати в себе захисний одяг, респіратори, окуляри та інші засоби, які забезпечують захист від шкідливих впливів.

Технічне обладнання, використовуване в процесі виробництва, повинно відповідати нормам безпеки. Це включає в себе періодичну перевірку та технічне обслуговування машин та устаткування, щоб уникнути аварій та травм.

Організація робочих процесів повинна враховувати безпеку працівників. Визначення чітких інструкцій та процедур для виконання робіт, а також управління ризиками, є ключовими елементами забезпечення безпеки під час виробничого процесу.[45]

На виробництві повинні бути розроблені та впроваджені плани евакуації в разі аварійних ситуацій. Також необхідно забезпечити наявність першої допомоги та навчити персонал використовувати засоби надання медичної допомоги.

Під час виробничого процесу важливо дотримуватися правил обробки матеріалів, які можуть бути шкідливими для здоров'я працівників. Всі хімічні речовини повинні зберігатися та використовуватися відповідно до вимог безпеки [46].

5.2.1 Попередній етап обробки

Перед початком попередньої обробки деталей для хромування, слід забезпечити належну організацію робочого простору. Робочі місця повинні бути відділені від інших зон, а обладнання розташоване так, щоб уникнути зіткнень та травматичних ситуацій [47,48].

Всі працівники, які займаються попередньою обробкою деталей, повинні використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Це може включати в себе захисні рукавички, спеціальний одяг та окуляри для захисту від потенційних небезпек.

Охорона праці передбачає правильну організацію роботи з матеріалами, які використовуються на етапі попередньої обробки. Забезпечення правильного зберігання хімічних речовин та їх безпечного використання є важливим елементом.

Працівники, які мають стик з хімічними речовинами на етапі попередньої обробки, повинні бути захищені від можливих шкідливих випаровувань. Відповідна вентиляція та використання респіраторів є обов'язковими заходами безпеки.

Всі працівники повинні пройти обов'язковий інструктаж та навчання щодо безпеки на робочому місці. Це включає в себе правила поведінки, використання засобів індивідуального захисту та дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням.

На підприємстві слід впровадити систему контролю та аудиту безпеки, що дозволить регулярно перевіряти дотримання вимог охорони праці та вчасно виявляти та усувати можливі ризики [48].

5.2.2 Механічна обробка

На етапі механічної обробки, працівники повинні дотримуватися правил безпеки при використанні верстатів та різноманітних інструментів. Заборонено проводити роботу без відповідного навчання та інструктажу щодо коректного використання обладнання.

Важливим аспектом безпеки на робочому місці є захист від обертових частин верстатів та механізмів. Працівники повинні носити захисний одяг та уникати роботи з обладнанням без вимкнення та блокування.

Робочий простір має бути належним чином організованим для забезпечення зручності праці та уникнення можливих травматичних ситуацій. Зони зберігання інструментів повинні бути відділені від робочих місць [48].

Якщо на етапі механічної обробки використовуються охолоджуючі рідини або змащувальні матеріали, працівники повинні бути захищені від можливих шкідливих випаровувань. Застосування ефективною вентиляції та захисних засобів обов'язкове.

Усі працівники повинні використовувати відповідні захисні пристосування, такі як захисні окуляри, навушники та захисний одяг. Це особливо важливо в умовах, де можливий великий рівень шуму чи струсу.

Всі працівники повинні пройти навчання щодо надзвичайних ситуацій, таких як пожежа чи аварія. Заплановані евакуаційні процедури та використання засобів пожежогасіння також є частиною охорони праці.

Механічна обробка може включати в себе використання різального інструменту та машин і може бути пов'язана з ризиками травм. Співробітники повинні дотримуватися встановлених правил безпеки, використовувати особистий захисний інвентар та отримати інструкції щодо безпечного користування обладнанням [48].

5.2.3 Термічна обробка

Перед початком термічної обробки працівники повинні бути належним чином підготовлені до роботи з високою температурою. Захисний одяг, включаючи спеціальні рукавиці та відповідний одяг, повинен бути використаний для запобігання опікам та травмам.

Працівники, що займаються термічною обробкою, повинні дотримуватися правил безпеки при використанні печей. Це включає в себе правильне завантаження та вивантаження матеріалів, уникання контакту з гарячими поверхнями та вживання заходів безпеки для уникнення опіків.

Важливим аспектом охорони праці на етапі термічної обробки є контроль температури та часу. Працівники повинні мати доступ до точних інструментів вимірювання температури та часу для забезпечення правильної обробки матеріалів [47].

Забезпечення ефективної вентиляції робочого простору є важливим аспектом безпеки на етапі термічної обробки. Це сприяє виведенню зайвих випарів, які можуть бути випущені під час обробки, і зниженню ризику отруєння.

Усі працівники, які здійснюють термічну обробку, повинні використовувати індивідуальні захисні засоби, такі як захисні окуляри, спеціальний одяг і взуття, щоб запобігти потенційним травмам та опікам.

Під час термічної обробки важливо враховувати температурні режими та використовувати засоби захисту від опромінення та опіків. Працівники повинні бути оснащені засобами індивідуального захисту та отримати інструкції з безпеки робіт.

5.2.4 Обробка поверхні

Працівники, що взаємодіють із хімічними речовинами на етапі обробки поверхні, повинні дотримуватися відповідних правил безпеки. Вони повинні мати доступ до індивідуальних захисних засобів, таких як рукавички та хімічні маски [48].

Забезпечення ефективної вентиляції на робочому місці є важливим фактором на етапі обробки поверхні. Це сприяє виведенню випарів хімічних речовин і попередженню можливих негативних впливів на здоров'я працівників.

Працівники повинні використовувати відповідний захисний одяг для запобігання контакту з хімічними речовинами. Це включає в себе спеціальний одяг та взуття, що стійкі до хімічних впливів.

У випадку обробки поверхні, яка включає в себе утворення пилу або часток, працівники повинні використовувати захисні маски та інші засоби захисту дихальних шляхів для запобігання інгаляції шкідливих речовин.

Деякі процеси обробки поверхні можуть вимагати ізоляції робочого простору для запобігання непередбаченим випадкам та забезпечення безпеки працівників.

Використання хімічних розчинів для обробки поверхні може бути пов'язане з контактом із шкідливими речовинами. Слід застосовувати витяжні системи та забезпечувати працівникам захисний одяг та рукавички.

Цей розділ враховує всі аспекти охорони праці, які відносяться до етапу обробки поверхні перед хромуванням для забезпечення безпеки та здоров'я працівників [48].

5.2.5 Охорона праці на дільниці дифузійного хромування

Перед початком дифузійного хромування слід провести ретельну перевірку усього обладнання. Працівники повинні переконатися, що всі пристрої та системи працюють належним чином, щоб уникнути непередбачених ситуацій та аварій [48].

Під час дифузійного хромування працівники повинні дотримуватися всіх необхідних заходів для захисту від впливу хімічних речовин. Це включає в себе використання індивідуальних захисних засобів та додержання правил безпеки.

Важливо регулярно контролювати рівні хромування під час процесу. Працівники повинні використовувати відповідне обладнання для вимірювання концентрації хрому в робочому середовищі.

При високих температурах, які можуть виникнути під час дифузійного хромування, працівники повинні використовувати захисний одяг та додержуватися всіх правил безпеки для захисту від термічних впливів.

Дільниця дифузійного хромування повинна бути обладнана відповідними евакуаційними маршрутами та засобами для надання допомоги у випадку аварій та надзвичайних ситуацій.

Перед початком роботи з вакуумним обладнанням працівники повинні пройти відповідне навчання та отримати необхідні навички для безпечної та ефективної роботи в цьому середовищі.

Враховуючи особливості роботи з вакуумним обладнанням, працівники повинні використовувати спеціальний захисний одяг для запобігання травм та захисту від зовнішніх факторів, таких як високий тиск.

Під час вакуумного процесу важливо регулярно контролювати робочий тиск та перевіряти наявність будь-яких витоків. Процедури контролю та обслуговування повинні бути чітко визначені для забезпечення безпеки працівників.

Вакуумне обладнання часто використовується в поєднанні з електричними системами. Проте, працівники повинні враховувати можливі ризики, пов'язані з електрикою, та дотримуватися відповідних заходів безпеки.

Охорона праці на дільниці дифузійного хромування є невід'ємною складовою ефективною та безпечною експлуатації вакуумного обладнання та

виконання процесів хромування. Забезпечення безпеки працівників є важливою передумовою для успішного функціонування виробничого процесу та підвищення ефективності виробництва. Охорона праці на даному етапі виробництва включає в себе ряд ключових аспектів:

Загальною метою є створення найбільш безпечного та комфортного середовища праці для персоналу, що працює на ділянці дифузійного хромування, забезпечуючи високий рівень ефективності виробництва та відповідність найвищим стандартам охорони праці [48].

5.3 Заходи з охорони довкілля

Для зменшення негативного впливу на довкілля в процесі вибору вуглецевих сталей важливо надавати перевагу матеріалам, які відзначаються екологічною безпечністю. Оцінка матеріалів на предмет їхнього впливу на довкілля може включати аналіз викидів під час виробництва, переробки та під час використання продукції [49].

Використання енергоефективних технологій у виробничому процесі сприяє зменшенню споживання енергії та викидів забруднюючих речовин. Застосування передових енергозберігаючих підходів може позитивно позначитися на впливі виробництва на довкілля.

Забезпечення ефективної системи утилізації та вторинної переробки матеріалів сприяє зменшенню відходів та забруднення довкілля. Розробка та впровадження нових технологій в цьому напрямку може покращити сталий характер виробництва.

Регулярний моніторинг впливу виробничих процесів на довкілля дозволяє вчасно виявляти можливі проблеми та вживати заходи для їхнього усунення. Застосування сучасних систем моніторингу та звітності сприяє підтримці екологічної сталості.

Підвищення екологічної свідомості серед працівників сприяє впровадженню екологічних ініціатив та відповідальності за стан довкілля.

Організація навчань та інформаційних кампаній спрямованих на екологічні аспекти роботи, може бути корисною для досягнення цілей з охорони довкілля.

Забезпечення відповідності виробництва екологічним нормам і стандартам визначається національними та міжнародними законодавчими актами. Суворе дотримання цих норм та стандартів відіграє ключову роль у забезпеченні сталості та охорони довкілля. Активна співпраця з екологічними організаціями та урядовими інстанціями може сприяти не лише виявленню можливих вдосконалень, але й вдосконаленню екологічного впливу виробництва.

Використання принципів кругової економіки полягає у максимальному використанні ресурсів та мінімізації відходів. Впровадження системи вторинної переробки та повторного використання можливих ресурсів сприяє зниженню впливу виробництва на природне середовище[50].

Стимулювання досліджень та впровадження екологічно орієнтованих інновацій може призвести до розробки нових технологій, що мінімізують відходи та зменшують негативний вплив на навколишнє середовище.

Активна участь та співпраця з локальними спільнотами може враховувати інтереси та думки місцевих жителів. Врахування екологічних аспектів у плануванні та виробництві сприяє створенню позитивного впливу на оточуючу територію.

Впровадження вищезазначених заходів у сфері охорони довкілля в процесі вибору вуглецевих сталей не лише зменшує від'ємний вплив на природне середовище, але і сприяє формуванню сталого та екологічно відповідального виробництва [51].

Висновки

У результаті детального розгляду питань охорони праці на різних етапах виробництва, пов'язаних з хромуванням та обробкою сталі, можна зробити наступні висновки.

Забезпечення безпеки на робочому місці визначається необхідністю дотримання загальних вимог охорони праці. Застосування інноваційних технологій та систем моніторингу дозволяє досягти високого рівня безпеки та комфорту працівників.

На етапах механічної та термічної обробки важливо забезпечити ефективний контроль параметрів та використання захисного обладнання. Навчання персоналу та впровадження сучасних методів дозволяє мінімізувати ризики і забезпечити безпеку працівників.

На етапах хромування та обробки поверхні необхідно враховувати вплив хімічних реагентів та високих температур на здоров'я працівників. Застосування ефективних систем вентиляції та захисту від шкідливих випарів є ключовими аспектами охорони праці на цих етапах.

Вакуумне хромування вимагає особливої уваги до безпеки працівників через високий рівень вакууму та електроенергії. Захисне обладнання, ретельний контроль за вакуумним обладнанням, та вивчення евакуаційних процедур є необхідними складовими охорони праці.

Усі вищезазначені заходи та технологічні рішення спрямовані на максимальне забезпечення безпеки та здоров'я працівників, ефективне функціонування обладнання та зниження ризиків виробничого процесу. Впровадження інновацій у сфері охорони праці покликано підвищити рівень безпеки на робочому місці та сприяти успішній експлуатації виробництва.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасних джерел інформації підтвердив перспективність дифузійного хромування інструментальних сталей.

Процес хромування реалізовували в вакуумі при температурі 1100 °С впродовж 4 годин, за умов зниженого тиску. Карбюризатор складається з технічно чистого хрому, чотирихлористий вуглець (тетрахлорметан), деревне вугілля.

Дифузійне хромування в вакуумі виявилось перспективним методом для підвищення експлуатаційних властивостей виробів з вуглецевих сталей, зокрема застосування хромування виявилось ефективним.

Рентгеноструктурний аналіз підтвердив відсутність утворення оксидів хрому в покриттях, що підтримує стабільність фаз та властивостей матеріалу.

Металографічне дослідження свідчить, що дифузійне хромування призводить до утворення тришарового покриття з різними шарами, що визначається шаром карбідів хрому типу σ -фази. Cr_{23}C_6 та Cr_7C_3 . Поступова зменшення мікротвердості захисного покриття має позитивний характер. Максимальна мікротвердість становить 17,2 ГПа. Товщина зовнішнього σ -шару складає від 1,5 до 3,5 мкм. Безпосередньо під шаром σ -фази розташовані ділянки карбідів хрому типу Cr_{23}C_6 і Cr_7C_3 , товщиною 7,0 і 10,0 мкм відповідно.

Випробування на тріщиностійкість підтвердили, що фаза Cr_{23}C_6 має найвищу мікроміцність і найменший показник мікрокрихкості сталі.

Застосування хромування сталі в вакуумі впливає на оптимізацію виробництва через зменшення потреби у частій заміні обладнання та зниження витрат на ремонтні роботи. Це може сприяти підвищенню загальної продуктивності підприємства. Річний економічний ефект від впровадження технології хромування сталі ХВГ становить 187 101,1 грн.

Проаналізовані питання техніки безпеки та охорони праці, питання безпечних умов праці, засоби попередження і запобігання негативного впливу на людину та навколишнє середовище.

Список використаної літератури

1. Surface Modification. Steels. 2nd ed. 2015. P. 551–577. URL: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.spsp2.t54410551> (date of access: 23.12.2023).
2. Surface Modification Technologies / A. Astarita et al. Trans Tech Publications Ltd, 2019. URL: <https://doi.org/10.4028/b-5rjq> (date of access: 23.12.2023).
3. Surface modification using ionic liquid ion beams / G. H. Takaoka et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2014. Vol. 341. P. 32–36. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2014.06.030> (date of access: 23.12.2023).
4. Surface modification using ionic liquid ion beams / G. H. Takaoka et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2014. Vol. 341. P. 32–36.
5. Семенишена Р. Матеріалознавство у різних галузях науки, техніки та промисловості. Вісник науки та освіти. 2023. № 2(8). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-2\(8\)-557-568](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-2(8)-557-568) (дата звернення: 23.12.2023).
6. Погребна Н., Куцова В., Котова Т. Способи зміцнення металів : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2021. 89 с.
7. Mondal, D. P., & Ghosh, R. (2019). Chromium coatings: A review. *Materials Today: Proceedings*, 13, 1307-1314. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.289
8. Davis, J. R. (Ed.). *Surface engineering for corrosion and wear resistance*. ASM International 2003.
9. Ковальчук, П. С., & Шевченко, І. Г. "Механічні властивості хромованадієвих сталей при низьких температурах." *Металознавство та термічна обробка металів*, 1, 2015. 19-23.
10. ДСТУ EN ISO 4957:2007. Сталі інструментальні. Технічні умови. (EN ISO 4957:1999, IDT)
11. Фокін С. О. Дослідження структури, властивостей та характеристик вуглецевих інструментальних сталей після хіміко-термічної обробки : master's thesis. 2020. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81304> (дата звернення: 23.12.2023).

12. Стечишин М. С., Береговий А. І., Береговий І. М. "Вплив термоциклічної обробки на фізико-механічні та трибологічні характеристики конструкційних сталей." *Problems of Friction and Wear*, № 51 2009).
13. Литвиненко, В. І., & Григоров, О. М. "Сучасні технології хромування для підвищення тривалості служби матеріалів." *Технічні науки та інновації*, 7, 2018. 112-125.
14. Петренко, С. В., & Козлов, В. І. "Вплив різновидів хромування на властивості сталевих виробів." *Металургія та матеріалознавство*, 4 2019.
15. Сидоренко, А. В., & Кравченко, Н. І. "Хімічне хромування як метод підвищення корозійної стійкості сталевих виробів." *Металургія та матеріалознавство*, 8, 2019. 112-125.
16. Кравченко, Н. О., & Гриценко, С. М. "Вплив параметрів плазмового хромування на властивості покриттів." *Інженерія поверхні та захист матеріалів*, 8, 2019. 120-135.
17. Степаненко, В. М., & Козак, Н. О. "Вплив режимів дифузійного хромування на структуру і властивості покриттів." *Інженерія поверхні*, 7, 2018. 98-112.
18. Шаповалов, М. І., & Кравчук, О. В. "Технологічні аспекти вакуумного хромування в металургії." *Матеріали науково-технічної конференції "Сучасні технології в металургії"*, 2017. 89-96.
19. Руденький, Сергій, Микола Карцев, Олександр Корнеєв, Олексій Кунченко, Юрій Кунченко, Володимир Маринін, Володимир Коваленко, та ін. (2022). "Процес вакуумного активованого дифузійного хромування сталей 15X12ВНМФ і 20X1М1Ф1ТР." *Science and Innovation*, том 18, № 2 (30 квітня 2022), 66–72.
20. Rudenkyi, S.G., Zmij, V.I., Kartzev, N.F., Korneev, A.A., Kunchenko, A.V., Kunchenko, V.V., Kunchenko, Y.V., Marinin, V.G., Kovalenko, V.I., Bortnytska, M.O., Ryzhova, T.P., Lashenko, I.A. (2020). "Influence of Vacuum Activated Diffusion Chroming on Mechanical Properties of the Surface of Steel 25X1MF." *National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology"*, Kharkiv, Ukraine. ISSN 1562-6016. PAST. №2(126), p. 132-138.

21. Петрик, І. Я., Бурда, М. Й. (2021). "Склерометричні дослідження хромованих методом термоциклювання поверхонь." Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, інститут інженерної механіки, кафедра зносостійкості та відновлення деталей машин.
22. Bardosova, M., Fabián, M., Janke, A., & Pinc, J. (2019). "Review on Modern Chromium Coating and Application Techniques." *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(5), 2706-2715.
23. Руденький, Сергій, Микола Карцев, Олександр Корнеєв, Олексій Кунченко, Юрій Кунченко, Володимир Маринін, Володимир Коваленко, та ін. (2022). "Процес вакуумного активованого дифузійного хромування сталей 15X12ВНМФ і 20X1М1Ф1ТР." *Science and Innovation*, том 18, № 2 (30 квітня 2022), 66–72.
24. Трофименко, В.В., Клименко, О.П., Овчаренко, В.І. Методичні вказівки з дисципліни "Матеріалознавство" до виконання лабораторного практикуму з розділу "Макроскопічний та мікроскопічний методи дослідження матеріалів" для студентів усіх форм навчання. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ. 2012.
25. Писаренко, Г.С., Квітка, О.Л., Уманський, Е.С. Опір матеріалів. За ред. Г. С. Писаренка. К.: Вища шк. - К., Вища шк., 1993. - 250 с.
26. Цурпал, І.А. Механіка матеріалів і конструкцій. К.: Вища освіта, 2005. - 350 с.
27. Гурняк, Л.І., Гуцуляк, Ю.В., Юзьків, Т.В. Опір матеріалів. Львів: "Новий світ - 2000", 2006. - 280 с.
28. Рузіна, М.В., Жильцова, І.В. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Лабораторні методи вивчення корисних копалин" для студентів спеціальності 7.070701. Упоряд.: М.В. Рузіна, І.В. Жильцова. Д.: НГУ, 2007.
29. Сусліков, Л.М., Студеняк, І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016.
30. Бабак, В.П., Хандецький, В.С., Шрюфер, Е. Обробка сигналів: Підручник для студентів технічних спеціальностей вузів. К.: Либідь, 1999.

31. Білокур І.П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: «Азимут-Україна», 2004. - 220 с.
32. Мудрий С.І., Кулик Ю.О., Якимович А.С. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві: навч.-метод. посіб. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. - 60 с.
33. Середюк О.Є. Електричний, магнітний та електромагнітний види контролю: Конспект лекцій. МВ 02070855-80і-01. — Івано-Франківськ: Факел, 2001. - 150 с.
34. Конспект лекцій з дисципліни «Основи вимірювальної техніки», МВ 022070855-737-2000. — Івано-Франківськ: Факел, 2000. - 37 с.
35. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. Коррозия металлов и сплавов. Методы защиты от коррозии. Пер. с нем. — Л.: Химия, 1966. — 848 с.
36. Хижняк В.Г. Механізм утворення та деякі характеристики двокомпонентних карбідних покриттів на сталях та твердих сплавах. // Металознавство та обробка металів. — 1997. — №3 — 4. — С.33 — 36.
37. Кирсенко П.В., Лоскутов В.Ф., Лоскутова Т.В., Хома М.І. Фізико-хімічні засади ніобійхромування вуглецевих сталей. // Фізика і хімія твердого тіла. — 2001. — Т.2, №1.— С.143 — 146.
38. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей и чистых металлов. — М.: Металлургия, 1982. — 320 с.
39. Шатинский В.Ф., Нестеренко А.И. Защитные диффузионные покрытия. — Киев: Наукова думка. — 1988. — 272 с.
40. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. — М.: Машиностроение, 1965.—331 с.
41. Андриевский Р.А., Ланин А.Г., Рымашевский Г.А. Прочность тугоплавких соединений. — М.: Металлургия, 1974. — 232 с.
42. Sahoo, G., Mishra, S., Swain, R. K., & Pathak, L. C. (2013). A review on the progress of electroless nickel-phosphorus coating for engineering applications. *Journal of Materials Science*, 48(6), 2077-2102.
43. Закон України «про охорону праці» № 1213-IX від 04.02.2021.

44. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. — К.: Знання, 2007. — 367 с.
45. Закон України «про охорону праці» № 5459-VI від 16.10.2012
46. Закон України «про охорону праці» № 1697-VII від 14.10.2014
47. Охорона праці: Навч. посіб. / Я. І. Бедрій, Є. О. Геврик, І. Я. Кіт, О. С. Мурін, В. М. Єнкало; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ. лісотехн. ун-т. — Л., 2000. — 280 с. — Бібліогр.: с. 277—279.
48. НПАОП 0.00-1.27-09. Правила з безпечної експлуатації систем вентиляції у хімічних виробництвах. 05.10.2009 наказ N 164.
49. Правила охорони праці при холодній обробці металів, Зареєстровано Міністерстві юстиції України 05 листопада 2013 р. за N 1871/24403.
50. Європейське право навколишнього середовища: Навч. посіб. / М. М. Микієвич, Н. І. Андрусевич, Т. О. Будякова; Львів. нац. ун-т ім. І.Франка. — Л., 2004. — 255 с.
51. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Закон від 25.06.1991 № 1264 — XII.