

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

«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство _____

освітньо-професійної програми _____ «Прикладне матеріалознавство» _____

на тему: «Дослідження структури та властивостей корозійностійких сталей після хіміко-термічної обробки» _____

Здобувача групи _____ МТ.м-31 _____ Піменова Олега Олеговича

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

_____ Олег ПІМЕНОВ

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

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

_____ Піменова Олега Олеговича _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Дослідження структури та властивостей корозійностійких сталей після хіміко-термічної обробки»

Затверджена наказом по університету від «22» жовтня 2024 р. №1085-VI _____

1. Термін здачі студентом роботи 10.12.2024 р. _____
2. Вихідні дані проекту (роботи): аналіз літературних джерел.
3. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: огляд літературних джерел; методика дослідження; проведення експериментальних досліджень; економічна частина; охорони праці; навколишнього середовища та техніка безпеки; висновки; список використаної літератури.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення у роботі немає так, як робота дослідницького характеру.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.	22.10.2024 р.	
Економічна частина	Берладір Х.В.	22.10.2024 р.	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямків дослідження	05.11.2024 р.	виконано
2	Розділ 2. Загальна методика та основні методи дослідження	12.11.2024 р.	виконано
3	Розділ 3. Експериментальні дослідження та загальні результати	03.12.2024 р.	виконано
4	Розділ 4. Економічна частина	10.12.2024 р.	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці, довкілля та техніки безпеки	10.12.2024 р.	виконано

6. Дата видачі завдання 22.10.2024 р

Студент: _____ Піменов О. О.
(підпис)

Керівник: _____ Харченко Н. А.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Піменов Олег Олегович. Дослідження структури та властивостей корозійностійких сталей після хіміко-термічної обробки – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2024.

Наукова робота направлена на аналіз сучасної технології термічної та хіміко-термічної обробки сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш. Розглянутий в роботі метод полягає в одночасному насиченні азотом і вуглецем корозійностійких сталей. Процес реалізовували при температурі насичення 580 °С, час ізотермічної витримки становив 9 годин. Двокомпонентне дифузійне насичення виконували на сучасному обладнанні в умовах виробничих. У результаті карбонітрації сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш сформувалися захисні покриття. Склад і структура отриманих покриттів забезпечує підвищення твердості поверхні, зносостійкості. Даний тип покриття можна розглядати як перспективну та просту у впровадженні виробничу технологію.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТАЛЬ, ПОКРИТТЯ, КОРОЗИЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

ABSTRACT

Oleh Pimenov. Study of the structure and properties of corrosion-resistant steels after chemical heat treatment – Manuscript.

Qualification work for master's qualification in specialty 132 - Materials science. – Sumy State University, Sumy, 2024.

The scientific work is directed to the analysis of modern technology of thermal and chemical-thermal treatment of steels 14Kh17N2 and 15Kh16K5N2MVFAB-Sh. The proposed method consists in the simultaneous saturation of corrosion-resistant steels with nitrogen and carbon. The process was carried out at a saturation temperature of 580⁰ C, the isothermal holding time was 9 hours. Two-component diffusion saturation was performed on modern equipment in production conditions. As a result of cyanation of steels 14Kh17N2 and 15Kh16K5N2MVFAB-Sh, protective coatings were formed. The composition and structure of the obtained coatings ensures an increase in surface hardness, wear resistance of the materials. This type of coating can be considered as a promising and easy-to-implement production technology.

KEY WORDS: STEEL, COATING, CORROSION, MICRO-HARDNESS, WEAR RESISTANCE

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Дослідження структури та властивостей корозійностійких сталей після хіміко-термічної обробки». Робота виконана на 79 сторінках друкованого тексту, містить 28 рисунків, 6 таблиць, 3 додатка.

Актуальність теми: науковий напрямок з вивчення захисних властивостей покриттів на корозійностійких сталях є важливим для українського виробництва. Це обумовлено необхідністю підвищення зносостійкості та продовження терміну служби виробів. Сучасні виробничі умови вимагають впровадження новітніх технологій для ефективної роботи обладнання та матеріалів.

Мета роботи – дослідження впливу карбонітрації на структуру та властивості корозійностійких сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш.

Задачі досліджень – провести аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки легованих корозійностійких сталей; запропонувати оптимальну технологію захисту сталей від зносу; провести аналіз впливу легуючих елементів на підвищення мікротвердості і зносостійкості, зробити висновки і надати рекомендації щодо використання.

Об’єкт дослідження – захисні покриття на поверхні корозійностійких сталей.

Предмет дослідження – мікроструктура, мікротвердість, товщина та зносостійкість покриттів після карбонітрації.

Методи дослідження –металографічний, дюрOMETричний аналізи, визначення зносостійкості.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропонована сучасні технологія підвищення зносостійкості корозійностійких сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш.

2. Розроблено власне програмне забезпечення для проведення розрахунку втрати маси багатошарових покриттів при випробуванні на знос.

Практичне значення отриманих результатів – матеріали кваліфікаційної роботи можуть бути рекомендовані до впроваджено в навчальний процес на факультеті технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету в курсах «Термічна обробка», «Технологія нанесення та властивості покриттів» спеціальності 132 «Матеріалознавство». До складу курсів включені розділи: дослідження складу та структури, дослідження механічних властивостей. Результати досліджень використовуються при підготовці лекцій, лабораторних і практичних робіт. Розроблена комп'ютерна програма з визначення втрати маси багат шарових покриттів при випробуванні на знос, рекомендована для використання при проведенні лабораторних робіт у віртуальному форматі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТАЛЬ, ПОКРИТТЯ, КОРОЗІЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	11
1.1 Корозійно стійкі сталі	11
1.2 Термічна та хіміко-термічна обробка корозійностійких сталей	13
1.3 Застосування термічної та хіміко-термічної обробки для корозійностійких сталей	15
1.4 Карбонітрація.....	16
1.5 Аналіз недоліків існуючих технологій та обґрунтування необхідності удосконалення	18
Висновки	20
РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	21
2.1 Матеріал дослідження.....	21
2.2. Технологія термічної та хіміко-термічної обробки	28
2.3 Металографічний аналіз	30
2.4 ДюрOMETричний аналіз	32
2.5 Визначення зносостійкості.....	35
Висновки	44
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	45
3.1 Результати металографічного та дюрOMETричного аналізів сталей після термічної обробки.....	45
3.2 Вплив параметрів процес унасичення на товщину та мікротвердість захисних покриттів	49
3.3 Результат визначення зносостійкості.....	50

	9
Висновки	53
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	54
4.1 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт	54
4.2 Склад витрат на проведення науково-дослідницької роботи	54
4.3 Розрахунок матеріальних витрат	54
4.4 Розрахунок заробітної плати.....	57
4.5 Зведений кошторис витрат	57
4.6 Економічна ефективність	58
Висновки	59
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	60
5.1 Техніка безпеки при термічній обробці металів	60
5.2. Охорона праці та здоров'я персоналу	62
5.3. Охорона довкілля	65
5.4. Пожежна та вибухобезпека	68
Висновки	70
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	73
ДОДАТОК А.....	77
ДОДАТОК Б	78
ДОДАТОК В	79

ВСТУП

Мета роботи – дослідження впливу карбонітрації на структуру та властивості корозійностійких сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФАБ-Ш.

Задачі досліджень – провести аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки легованих корозійностійких сталей; запропонувати оптимальну технологію захисту сталей від зносу; провести аналіз впливу легуючих елементів на підвищення мікротвердості і зносостійкості, зробити висновки і надати рекомендації щодо використання.

Об’єкт дослідження – захисні покриття на поверхні корозійностійких сталей.

Предмет дослідження – мікроструктура, мікротвердість, товщина та зносостійкість покриттів після карбонітрації.

Методи дослідження –металографічний, дюрOMETричний аналізи, визначення зносостійкості.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропонована сучасні технологія підвищення зносостійкості корозійностійких сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФАБ-Ш.

2. Розроблено власне програмне забезпечення для проведення розрахунку втрати маси багат шарових покриттів при випробуванні на знос.

Практичне значення отриманих результатів – матеріали кваліфікаційної роботи можуть бути рекомендовані до впровадження в навчальний процес на факультеті технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету в курсах «Термічна обробка», «Технологія нанесення та властивості покриттів» спеціальності 132 «Матеріалознавство». До складу курсів включені розділи: дослідження складу та структури, дослідження механічних властивостей. Результати досліджень використовуються при підготовці лекцій, лабораторних і практичних робіт. Розроблена комп’ютерна програма з визначення втрати маси багат шарових покриттів при випробуванні на знос, рекомендована для використання при проведенні лабораторних робіт у віртуальному форматі.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В даній роботі поставлено питання дослідження структури, властивостей та характеристик сталі 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш

1.1 Корозійно стійкі сталі

Корозія – це руйнування матеріалів (здебільшого металів) внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. Проблема корозії є надзвичайно актуальною для багатьох галузей промисловості, оскільки призводить до значних економічних втрат, пов'язаних з заміною пошкодженого обладнання, простоем виробництва та іншими негативними наслідками. Для захисту металевих виробів від корозії широко застосовуються корозійностійкі сталі [1].

Корозійностійкі сталі, також відомі як нержавіючі сталі, – це сплави на основі заліза, що містять хром (Cr) у кількості не менше 10,5%, що забезпечує їх стійкість до корозії. Саме хром утворює на поверхні сталі тонку, щільну та стійку до дії окислювачів плівку оксиду хрому (Cr_2O_3), яка захищає метал від подальшого руйнування.

Класифікація корозійностійких сталей [2].

Корозійностійкі сталі класифікують за різними критеріями, зокрема за хімічним складом та мікроструктурою:

1. За хімічним складом

- **Хромисті сталі:** містять від 10,5% до 30% хрому та невелику кількість вуглецю. Залежно від вмісту вуглецю поділяються на мартенситні, феритні та мартенситно-феритні.

- **Хромонікелеві сталі:** крім хрому, містять нікель (Ni), що покращує їх пластичність, зварюваність та корозійну стійкість у агресивних середовищах. Найбільш поширений тип – аустенітні сталі.
- **Нікель-хром-молібденові сплави:** містять додатково молібден (Mo), який підвищує стійкість до пітингової та щільної корозії, особливо в хлоридовмісних середовищах.

2. За мікроструктурою

- **Мартенситні сталі:** характеризуються високою твердістю та зносостійкістю, але мають обмежену корозійну стійкість порівняно з іншими класами. Застосовуються для виготовлення ріжучого інструменту, пружин, клапанів.
- **Феритні сталі:** мають хорошу корозійну стійкість в атмосферних умовах та слабких агресивних середовищах, але обмежену пластичність та зварюваність. Застосовуються в харчовій промисловості, для виготовлення побутових приладів.
- **Аустенітні сталі:** мають найкращу корозійну стійкість серед усіх класів, високу пластичність та зварюваність. Застосовуються в хімічній, харчовій, медичній промисловості, а також в авіації та суднобудуванні.
- **Мартенситно-феритні (дулексні) сталі:** поєднують високу міцність мартенситних сталей з хорошою корозійною стійкістю феритних.

Механізми корозії [3].

Існує кілька основних типів корозії:

- Загальна (суцільна) корозія: рівномірне руйнування поверхні металу.
- Пітингова корозія: локальне руйнування з утворенням точкових заглиблень (пітингів).
- Міжкристалітна корозія: руйнування по границях зерен металу.

- Корозійне розтріскування: руйнування під впливом одночасної дії корозійного середовища та механічних напружень.

Вплив легуючих елементів [4].

- Хром (Cr): головний легуючий елемент, що забезпечує корозійну стійкість.
- Нікель (Ni): підвищує пластичність, зварюваність та стійкість до корозії в кислотних середовищах.
- Молібден (Mo): покращує стійкість до пітингової та щілинної корозії.
- Титан (Ti) та ніобій (Nb): запобігають міжкристалітній корозії.

Аналіз сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш [4].:

- 14X17H2: відноситься до мартенситних корозійностійких сталей. Характеризується високою міцністю, твердістю та зносостійкістю, але має середню корозійну стійкість.
- 15X16K5H2MBФAB-Ш: – високолегована мартенситна сталь, що містить, крім хрому та нікелю, кобальт, молібден, ванадій, вольфрам і бор. Завдяки такому комплексному легуванню досягається висока міцність, твердість, зносостійкість і підвищена корозійна стійкість в порівнянні з 14X17H2.

1.2 Термічна та хіміко-термічна обробка корозійностійких сталей

1.2.1 Загальні принципи термічної обробки сталей

Термічна обробка – це сукупність операцій нагрівання, витримки за певної температури та охолодження металу з метою зміни його внутрішньої будови та, відповідно, властивостей [5]. Основні види термічної обробки сталей включають:

- **Гартування:** нагрівання сталі до температури, що забезпечує аустенітну структуру, з наступним швидким охолодженням (зазвичай у воді, маслі або повітрі) для отримання мартенситної структури, яка характеризується високою твердістю та міцністю [6]. Для корозійностійких сталей, зокрема мартенситних,

гартування може підвищити міцність та зносостійкість, але може й знизити корозійну стійкість через утворення внутрішніх напружень.

- **Відпуск:** нагрівання загартованої сталі до температури нижче температури аустенітного перетворення з метою зняття внутрішніх напружень, підвищення пластичності та в'язкості [6], а також регулювання твердості. Температура відпуску визначає кінцеві властивості сталі. Низький відпуск (150-250°C) застосовують для підвищення твердості та зносостійкості, середній (350-450°C) – для підвищення пружних властивостей, високий (500-650°C) – для покращення пластичності та в'язкості. Для корозійностійких сталей важливо підібрати режим відпуску, щоб мінімізувати негативний вплив на корозійну стійкість.
- **Відпал:** нагрівання сталі до певної температури з подальшим повільним охолодженням. Застосовується для зняття внутрішніх напружень, покращення оброблюваності різанням, зменшення твердості та подрібнення зерна. Для корозійностійких сталей відпал може застосовуватися для покращення пластичності перед подальшою обробкою або для зняття напружень після зварювання [6].
- **Нормалізація:** нагрівання сталі до температури трохи вище температури аустенітного перетворення з наступним охолодженням на повітрі. Забезпечує більш дрібну та рівномірну структуру, ніж відпал, що покращує механічні властивості.

1.2.2 Методи хіміко-термічної обробки сталей

Хіміко-термічна обробка (ХТО) [7] – це процес зміни хімічного складу поверхневого шару металу шляхом дифузійного насичення його певними елементами при високій температурі. Основні види ХТО:

- **Цементация:** насичення поверхневого шару сталі вуглецем для підвищення твердості та зносостійкості. Зазвичай застосовується для низьковуглецевих

сталей. Для корозійностійких сталей застосовується рідко, оскільки може негативно вплинути на корозійну стійкість.

- **Азотування:** насичення поверхневого шару сталі азотом для підвищення твердості, зносостійкості та корозійної стійкості в деяких середовищах. Азотування проводять при більш низьких температурах, ніж цементацію, що зменшує деформацію деталей. Для корозійностійких сталей азотування може бути ефективним для підвищення поверхневої твердості та зносостійкості без значного погіршення корозійної стійкості, особливо в аустенітних сталях.
- **Ціанування:** насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем та азотом. Забезпечує високу твердість, зносостійкість та корозійну стійкість.
- **Борування:** насичення поверхневого шару сталі бором для значного підвищення твердості, зносостійкості та жаростійкості.
- **Дифузійна металізація:** насичення поверхневого шару сталі іншими металами, наприклад, алюмінієм (алітування), хромом (хромування) або кремнієм (силіціювання) для підвищення жаростійкості, корозійної стійкості та зносостійкості.

1.3 Застосування термічної та хіміко-термічної обробки для корозійностійких сталей

Вибір методу термічної або хіміко-термічної обробки для корозійностійкої сталі залежить від конкретних вимог до виробу, таких як необхідна твердість, зносостійкість, корозійна стійкість та умови експлуатації. Наприклад, для підвищення зносостійкості мартенситних корозійностійких сталей, таких як 14X17H2, застосовують гартування з наступним низьким відпуском. Для покращення корозійної стійкості аустенітних сталей може бути ефективним азотування.

Серед різноманітних методів хіміко-термічної обробки особливе місце займає карбонітрація, яка поєднує в собі насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем та азотом. Цей процес дозволяє досягти комплексу властивостей, що важко

отримати іншими методами, зокрема підвищеної твердості, зносостійкості та, за певних умов, покращеної корозійної стійкості [8]. Саме тому в даній роботі для дослідження впливу на властивості сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-III було обрано метод карбонітрації.

1.4 Карбонітрація

Карбонітрація – це процес хіміко-термічної обробки, при якому поверхневий шар сталі одночасно насичується вуглецем і азотом. Цей процес комбінує переваги цементації (збільшення твердості та зносостійкості за рахунок насичення вуглецем) та азотування (підвищення зносостійкості, границі витривалості та корозійної стійкості за рахунок насичення азотом) [6].

Фізико-хімічні основи процесу карбонітрації

Карбонітрація відбувається в газовому або рідкому середовищі, що містить джерела вуглецю (наприклад, природний газ, пропан, метан) та азоту (аміак). Під дією високої температури відбувається термічна дисоціація цих речовин з утворенням атомарного вуглецю та азоту, які дифундують у поверхневий шар сталі [9].

- **Дифузія вуглецю:** атоми вуглецю, дифундуючи в сталь, утворюють з залізом карбіди (Fe_3C), що підвищує твердість та зносостійкість поверхневого шару.
- **Дифузія азоту:** атоми азоту, дифундуючи в сталь, утворюють нітриди (Fe_4N), що підвищує зносостійкість, границю витривалості, а також, у певних випадках, корозійну стійкість. Азот також сприяє подрібненню зерна, що позитивно впливає на механічні властивості.

Співвідношення вуглецю та азоту в насиченому шарі залежить від складу газової суміші, температури та часу процесу.

Фактори, що впливають на процес карбонітрації

- **Температура:** підвищення температури прискорює дифузію вуглецю та азоту, але також може призвести до збільшення глибини дифузійного шару та зміни фазового складу.
- **Час:** збільшення часу витримки призводить до збільшення глибини дифузійного шару та концентрації вуглецю та азоту на поверхні.
- **Склад газової суміші:** співвідношення джерел вуглецю та азоту в газовій суміші визначає співвідношення вуглецю та азоту в насиченому шарі.
- **Попередній стан сталі:** структура та твердість сталі до карбонітрації впливають на процес дифузії та кінцеві властивості.

Структура та властивості карбонітрованого шару [9]

Карбонітрований шар складається з кількох зон:

- **Поверхнева зона (сполуки):** містить нітриди та карбіди заліза, забезпечуючи високу твердість та зносостійкість.
- **Дифузійна зона:** характеризується поступовим зменшенням концентрації вуглецю та азоту вглиб матеріалу.
- **Перехідна зона:** перехід від насиченого шару до основної структури сталі.

Властивості карбонітрованого шару:

- Висока твердість (55-65 HRC і вище): забезпечується утворенням твердих карбідів та нітрідів.
- Висока зносостійкість: обумовлена високою твердістю та наявністю нітрідів.
- Підвищена границя витривалості: завдяки створенню компресійних напружень на поверхні.
- Підвищена корозійна стійкість (у певних умовах): азот може сприяти пасивації поверхні в деяких середовищах. Однак, слід враховувати, що карбонітрація не

завжди покращує корозійну стійкість корозійностійких сталей в агресивних середовищах, особливо в кислотах.

Обґрунтування вибору карбонітрації для дослідження

Виходячи з аналізу літературних джерел та враховуючи вимоги до властивостей сталей 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш, для дослідження в даній роботі було обрано метод карбонітрації. Цей метод дозволяє комплексно покращити механічні властивості поверхневого шару, зокрема твердість та зносостійкість, що є важливим для деталей, що експлуатуються в умовах тертя та зносу [9]. Дослідження впливу режимів карбонітрації на корозійну стійкість зазначених марок сталей є актуальним завданням, оскільки дозволить отримати бажаний комплекс властивостей.

1.5 Аналіз недоліків існуючих технологій та обґрунтування необхідності удосконалення

Аналіз літературних джерел та патентної інформації щодо обробки корозійностійких сталей, зокрема марок 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш, дозволяє виявити певні недоліки існуючих технологій та обґрунтувати необхідність їх удосконалення.

Традиційні методи термічної обробки, такі як гартування з наступним відпуском, хоча й забезпечують необхідну міцність та твердість, часто не дозволяють досягти достатнього рівня корозійної стійкості в умовах агресивних середовищ або при одночасній дії механічних навантажень [5]. Особливо це стосується мартенситних сталей, до яких належать 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш. Гартування може призвести до утворення внутрішніх напружень, що негативно впливає на корозійну стійкість.

Хіміко-термічні методи обробки, такі як цементация, хоча й підвищують твердість поверхневого шару, можуть погіршити корозійну стійкість

корозійностійких сталей через зміну хімічного складу поверхні та утворення карбідів хрому, що зменшують вміст хрому в твердому розчині та, відповідно, захисні властивості оксидної плівки [10]. Азотування хоча й покращує зносостійкість та втомну міцність, не завжди забезпечує достатню корозійну стійкість в агресивних середовищах. Крім того, ефективність азотування залежить від складу сталі, і для високолегованих сталей, таких як 15X16K5H2MBФАБ-Ш, можуть знадобитися спеціальні режими обробки.

Отже, існує потреба в удосконаленні існуючих технологій обробки корозійностійких сталей, особливо для випадків, коли виріб працює в умовах поєднання зношування та корозійного впливу. Карбонітрація, як комбінований метод хіміко-термічної обробки, представляє значний інтерес з точки зору покращення комплексу властивостей. Поєднання насичення вуглецем для підвищення твердості та зносостійкості з насиченням азотом для покращення зносостійкості, втомної міцності та, за певних умов, корозійної стійкості, дозволяє отримати синергетичний ефект.

Висновки

У першому розділі проведено огляд літератури, де розглянуто корозійностійкі сталі, їх термічну та хіміко-термічну обробку, а також детально описано процес карбонітрації. В розділі висвітлено важливість корозійностійких сталей для захисту металевих виробів від корозії, наведено їх класифікацію та описано механізми корозії. Розглянуто вплив легуючих елементів на властивості сталей та охарактеризовано сталі 14X17H2 та 15X16K5H2MBФАБ-Ш, обрані для дослідження.

Також в розділі представлено загальні принципи та основні види термічної обробки сталей, включаючи гартування, відпуск, відпал та нормалізацію, а також їх вплив на властивості корозійностійких сталей.

Описано основні види хіміко-термічної обробки, такі як цементація, азотування, ціанування, борування та дифузійна металізація. Детально розглянуто фізико-хімічні основи процесу карбонітрації, фактори, що впливають на нього, а також структуру та властивості карбонітрованого шару.

Проаналізовано недоліки існуючих технологій обробки корозійностійких сталей, підкреслюючи необхідність їх удосконалення та переваги карбонітрації як комбінованого методу хіміко-термічної обробки.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал дослідження

Для дослідження вибрано сталі 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-Ш, які належать до класу корозійностійких сталей, застосовуваних у машинобудуванні, енергетиці та інших галузях. Зокрема ці сталі застосовується в таких перспективних галузях виробництва як оборонна, літакобудуванні, хімічній промисловості. Крім того 15X16K5H2MBФAB-Ш використовується для деталей, що працюють в умовах радіаційного опромінення, високих температур та тиску. Їхні хімічний склад (рис 2.1) і структура, яку отримують після термічної обробки забезпечують високу міцність, корозійну стійкість.

2.1.1 Сталь 14X17H2

Сталь 14X17H2 є високолегованою хромонікелевою сталлю. Основними легуючими елементами є хром (17%) і нікель (2%). Хром забезпечує формування пасивного шару, який захищає матеріал від корозії, а нікель підвищує міцність і пластичність сталі [11]. У таблиці 2.1 наведено її хімічний склад.

Ця сталь характеризується:

- Високою стійкістю до міжкристалічної корозії та корозії під напругою.
- Доброю зварюваністю, що полегшує виготовлення деталей складної конфігурації.
- Стійкістю до дії кислот і солей, що дозволяє її використовувати у агресивних середовищах.

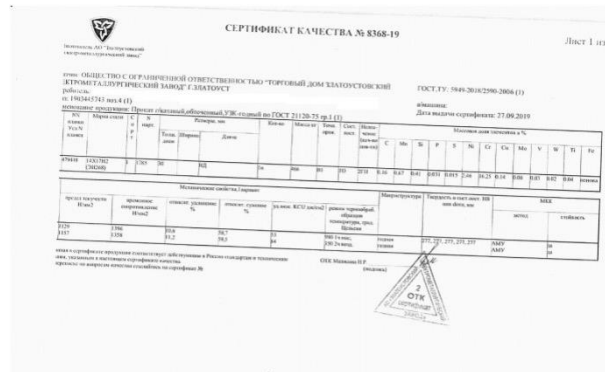


Рисунок 2.1 – Спектральний аналіз сталі 14X17H2

Таблиця 2.1

Хімічний склад зразків сталі 14X17H2

Сталь, марка	Вміст елементів, % по масі											
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W	V	Mo	Cu	Ti
14X17H2	0,11	0,4	0,38	0,004	0,028	17,16	1,61	0,02	0,04	0,07	0,13	0,005

У рамках дослідження структури та властивостей корозійностійких сталей, розглянемо значення ключових хімічних елементів у сплаві сталі 14X17H2:

- **Вуглець (C):** Цей елемент є основним чинником, що впливає на механічні властивості сталі. Він сприяє утворенню мартенситної структури під час загартування, що забезпечує високий рівень міцності та твердості матеріалу.
- **Хром (Cr):** Хром надає сталі здатність протистояти корозії завдяки формуванню на її поверхні стабільної захисної плівки оксиду хрому. Окрім того, він покращує термостійкість сталі, що особливо важливо для її експлуатації при підвищених температурах.

- **Нікель (Ni):** Нікель робить сталь більш стійкою до корозії, у тому числі міжкристалітної, а також підвищує її пластичність. Завдяки нікелю покращуються зварювальні властивості матеріалу, що є важливим для промислового застосування.
- **Марганець (Mn) та кремній (Si):** Ці елементи відіграють роль ефективних деоксидантів під час металургійного процесу, видаляючи кисень зі сталі й знижуючи ризик утворення дефектів структури через окислення.
- **Фосфор (P) та сірка (S):** Попри те, що у великих концентраціях ці елементи можуть негативно впливати на механічні властивості та корозійну стійкість сталі, у мінімальних кількостях вони сприяють поліпшенню оброблюваності металу [11].

З метою прогнозування структури сталей після термічної обробки використовується методика за діаграмою Шефлера. Вона базується на хімічному складі сплаву і дозволяє визначити вміст фаз (наприклад, фериту, аустеніту, мартенситу). Це важливо для оцінки властивостей матеріалу, таких як міцність, пластичність і корозійна стійкість.

Основні етапи роботи за методикою Шефлера: визначення еквівалентів легуючих елементів. У діаграмі Шефлера враховуються феритоутворюючі та аустенитоутворюючі елементи. Їх вплив виражають через феритовий еквівалент (Cr_e) та нікелевий еквівалент (Ni_e). Розраховані значення еквівалентів відкладають на діаграмі Шефлера. Вона розділена на зони, що відповідають різним структурним станам (аустенітна, феритна, мартенситна, змішана). Положення точки на діаграмі визначає тип структури, яка формується після термообробки.

Еквівалентна формула

$$Cr = (\% Cr) + 2 (\% Si) + 1,25 (\% Mo) + 5 (\% V) + 1,75 (\% Nb) + 0,75 (\% W) + 1,5 (\% Ti) \\ = 16,25 + 2 \times 0,41 + 1,25 \times 0,08 + 5 \times 0,03 + 0,75 \times 0,02 + 1,5 \times 0,04 = 17,42 \quad (2.1)$$

- Формула перетворення

$$Ni = (\% Ni) + (\% Co) + 0,5 (\% Mn) + 0,3(\% Cu) + 30(\% C) + 25(\% N) = 2,46+0,5 \times 0,67+0,3 \times 0,14+30 \times 0,16 = 7,637 \quad (2.2)$$

Виходячи зі значень Ni_E і Cr_E – фериту. (2.3)

$$\Phi = 1,05Cr_E + Ni_E - \sqrt{1,1Cr_E^2 - 35,4Cr_E + 45,7Ni_E + 284} = 18,29 + 7,637 - \sqrt{1,1 \times 303,46 - 35,4 \times 17,42 + 45,7 \times 7,637 + 284} = 25,93 - 18,71 = 7,22\%$$

За результатами розрахунків було визначено, що сталь відноситься до мартенситно-феритного класу, де кількість δ -фериту у сталі 14X17H2 дорівнює 7,22 %.

Об'ємно-центрована кубічна структура δ -заліза, як і у α -заліза. Вона існує при високих і низьких температурних режимах, тому і ферит у залізо-вуглецевих сплавах буває α - та δ -, низькотемпературний та високотемпературний відповідно. Високотемпературний існує при 1390°C й вище і є алотропною модифікацією заліза [12].

2.1.2 Сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш

Сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш є спеціалізованою високолегованою сталлю особливовисокоякісна, яка застосовується для виготовлення деталей, що працюють у жорстких умовах. Її склад збагачений такими елементами, як хром, нікель, молібден, ванадій, ніобій, що забезпечують оптимальний баланс міцності, пластичності та стійкості до зношування [12]. У таблиці 2.2 наведено її хімічний склад.

Основними характеристиками цієї сталі є:

- Висока термостійкість, що дозволяє експлуатувати її в умовах значних температурних перепадів.
- Підвищена корозійна стійкість завдяки високому вмісту хрому (16%) та спеціальних легуючих добавок.
- Висока міцність після хіміко-термічної обробки, що робить її придатною для застосування в механізмах високого навантаження.

Таблиця 2.2

Хімічний склад зразків сталі 15X16K5H2MBФAB-Ш

Сталь, марка	Вміст елементів, % по масі									
	C	S	P	N	Cr	V	Co	Ni	Nb	Mo
15X16K5H 2MBФAB- Ш	0,15	0,03	0,035	0,4	17	0,7	5,2	2,2	0,3	0,6

Властивості складових елементів [13]:

- **Вуглець (C):** Вуглець відіграє ключову роль у визначенні міцності сталі, однак його надмірна кількість може негативно впливати на пластичність і корозійну стійкість. У сталі 15X16K5H2MBФAB-Ш вміст вуглецю обмежено до **0,15%**, що забезпечує збалансоване поєднання міцності та пластичності.
- **Кремній (Si):** Кремній сприяє підвищенню міцності, твердості та електропровідності сталі. Його вміст до **0,8%** покращує механічні характеристики, зберігаючи сталі необхідну технологічність.

- **Марганець (Mn):** Цей елемент позитивно впливає на механічні властивості, особливо на твердість і міцність. Концентрація марганцю до **0,8%** підтримує необхідний рівень цих параметрів.
- **Хром (Cr):** Хром є основним елементом для забезпечення корозійної стійкості. Формування захисної оксидної плівки на поверхні сталі при вмісті хрому **15%** значно покращує її стійкість до агресивного середовища.
- **Кобальт (Co):** Кобальт підвищує твердість і жароміцність, особливо при високих температурах. Його частка у **16%** є оптимальною для забезпечення високої жароміцності сплаву.
- **Нікель (Ni):** Цей елемент забезпечує підвищену пластичність, ударну в'язкість і корозійну стійкість сталі. Вміст нікелю **2%** гарантує сталі необхідну ударну в'язкість та експлуатаційні властивості.
- **Молибден (Mo):** Молибден підвищує жароміцність та стійкість до міжкристалітної корозії. Його вміст у **0,5%** сприяє покращенню довговічності та стійкості сплаву до екстремальних умов.
- **Вольфрам (W):** Вольфрам сприяє збереженню високої твердості та жароміцності сталі за підвищених температур. Концентрація **0,5%** забезпечує сталі необхідні експлуатаційні характеристики.
- **Ванадій (V):** Ванадій відповідає за підвищення міцності, твердості та стійкості до зносу. Його вміст у **0,2%** сприяє покращенню механічних властивостей сталі.
- **Ніобій (Nb):** Цей елемент додає сталі міцності, жароміцності та стійкості до корозії. Вміст ніобію **0,1%** оптимально підвищує ці характеристики.
- **Сірка (S):** Сірка є небажаною домішкою, яка погіршує пластичність та зварюваність, тому її концентрація обмежена до **0,03%**.
- **Фосфор (P):** Фосфор також негативно впливає на ударну в'язкість та зварюваність. Його вміст у сталі не перевищує **0,03%**.

- **Залізо (Fe):** Залізо є основним компонентом сплаву, який становить решту хімічного складу після введення необхідних легувальних елементів.

- Еквівалентна формула по хрому

$$\begin{aligned} Cr &= (\% Cr) + 2 (\% Si) + 1,25 (\% Mo) + 5 (\% V) + 1,75 (\% Nb) + 0,75 (\% W) + 1,5 (\% Ti) \\ &= 15,17 + 1,25 \times 0,6 + 5 \times 0,7 + 1,75 \times 0,3 = 19,95 \quad (2.3) \end{aligned}$$

- Еквівалентна формула по нікелю

$$\begin{aligned} Ni &= (\% Ni) + (\% Co) + 0,5 (\% Mn) + 0,3 (\% Cu) + 30 (\% C) + 25 (\% N) = \\ &= 2,2 + 5,2 + 30 \times 0,15 + 25 \times 0,4 = 21,9 \quad (2.4) \end{aligned}$$

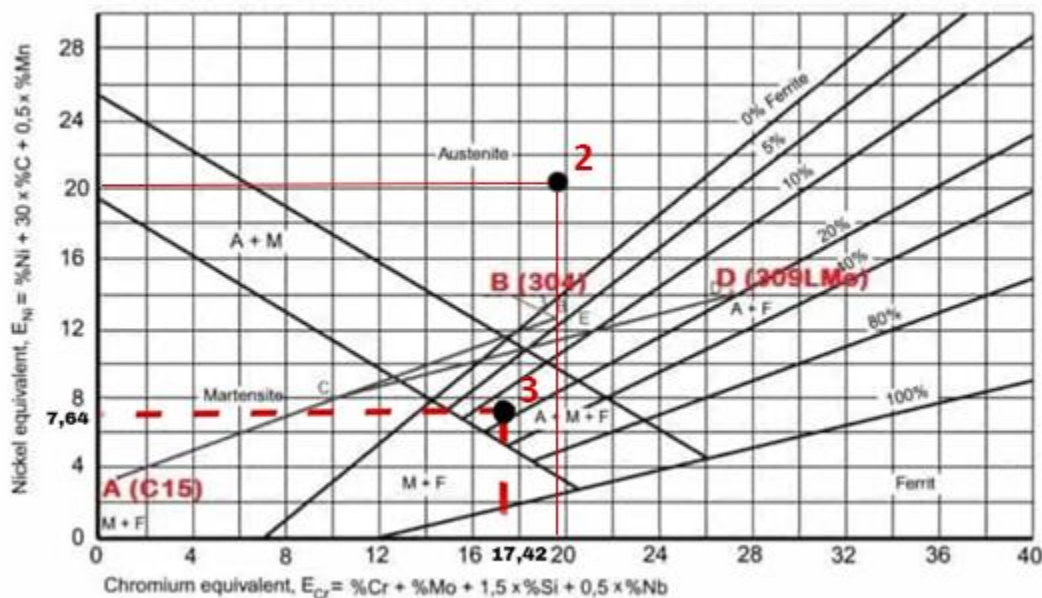


Рисунок 2.2 – Структурний клас сталей за діаграмою Шеффлера: 1- сталь 14X17H2, 2- сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш [14]

Таким чином встановлено, що сталь 14X17H2 відноситься до перехідного мартенситно-аустенітно-феритного класу.

Механічні властивості сталі 15X16K5H2MBФАБ-Ш:

Сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш характеризується [14]. високою жароміцністю та корозійною стійкістю, що робить її придатною для виготовлення деталей, які працюють при підвищених температурах та в агресивних середовищах. Завдяки оптимальному поєднанню легуючих елементів, сталь демонструє відмінні механічні властивості, зокрема:

- **Межа міцності на розрив (σ_b):** не менше 800 МПа
- **Межа текучості ($\sigma_{0,2}$):** не менше 600 МПа
- **Відносне подовження (δ_5):** не менше 12%
- **Відносне звуження (ψ):** не менше 45%
- **Ударна в'язкість (КСУ):** не менше 60 Дж/см²

Ці характеристики забезпечують сталі високу міцність, пластичність та ударну в'язкість, що є критично важливим для її застосування в умовах підвищених температур та агресивних середовищ [15].

2.2. Технологія термічної та хіміко-термічної обробки

В роботі проводили дослідження запропонованого режиму ХТО корозійностійких сталей, зокрема: одночасного насичення поверхні азотом і вуглецем шляхом карбонітрації. Попередньо зразки вибраних сталей піддавали термічній обробці.

Технологічний процес термічної обробки зразка зі сталі 14X17H2 – корозійностійкої мартенситної сталі – включає послідовне виконання операцій відпалу, гартування та відпуску. Цей комплексний підхід дозволяє досягти оптимального поєднання механічних характеристик, таких як твердість, міцність та

в'язкість, що є ключовим для забезпечення надійності матеріалу в різних умовах експлуатації [16].

Попередня термічна обробка зразка спрямована на усунення структурних дефектів, що виникли після попередньої обробки, та підготовку матеріалу до подальших етапів. Цей етап забезпечує зняття залишкових напружень, покращує оброблюваність різанням і сприяє формуванню більш однорідної мікроструктури.

Відпал проводиться при температурі 800°C із подальшою витримкою протягом 5 годин. Гартування здійснюється при температурі $1020\text{--}1050^{\circ}\text{C}$ із витримкою протягом 30 хвилин і наступним швидким охолодженням шляхом занурення в масло. Відпуск виконується при температурі 600°C із витримкою протягом 2 годин. Після завершення термічної обробки зразок піддається хіміко-термічній обробці – карбонітрації.

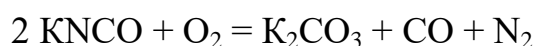
Карбонітрація проводиться в розплаві солей карбонатів і ціанатів при температурі 580°C із витримкою протягом 9 годин.

Сама технологія карбонітрація передбачає наступні операції [17]. До сухого чистого титанового тигля засипають сіль ($75\text{--}85\%$ KNCN + $25\text{--}15\%$ K_2CO_3), яка заповнює $1/4\text{--}1/2$ об'єму тигля. Засипку нагрівають до розплавлення, яке відбувається при температурі 350°C . У розплавлену ванну додають нову порцію солі, доводячи її до розплавлення. Таким чином, поступовим наплавленням заповнюють робочий об'єм тигля. Температура ванни під час наплавлення повинна підтримуватися в межах $400\text{--}450^{\circ}\text{C}$, щоб уникнути забруднення розплаву вторинними реакціями, які можуть виникнути при перевищенні температури.

Якщо ванна створюється із суміші ціанату з карбонатом, після декількох годин витримки при робочій температурі $550\text{--}560^{\circ}\text{C}$ вона готова до проведення процесу карбонітрації. Така витримка необхідна для завершення реакцій, пов'язаних із

залишковою вологістю солей. У разі використання чистої ціанатної солі після розплавлення її необхідно витримати і провести окиснення, щоб довести концентрацію поташу до 15–25%, відповідного рівня робочого складу ванни.

Варто зазначити, що використовувані солі схильні до поглинання вологи, тому їх потрібно зберігати у відповідних умовах. При використанні сухих солей процес розплавлення відбувається без спінення і спучування у ванні. У цілях інтенсифікації реакції:



Розплав солі продувають окисником (вуглекислим газом, повітрям тощо). Для цього зручно використовувати продування повітрям, яке подається через спеціальне пристосування. Це пристосування має кільцеподібну форму з отворами діаметром близько 0,5 мм і розміщується на дні тигля.

2.3 Металографічний аналіз

Дослідження мікроструктури зразків було проведено за допомогою інвертованого металографічного мікроскопа МИМ-7 (рис.2.3), що є стандартним обладнанням для вивчення мікроструктури металевих матеріалів. Цей мікроскоп призначений для мікроструктурного аналізу металів і сплавів у відбитому світлі з лінійним збільшенням від 50 до 1000 разів. Для освітлення використовується кінопроекційна лампа К-30 17В потужністю 170 Вт [18].



Рисунок 2.3 – Металографічний мікроскоп МИМ-7

Технічні характеристики мікроскопа включають оптичну систему з планахроматичними об'єктивами, що забезпечують високу роздільну здатність та мінімальні оптичні спотворення. Освітлювальна система мікроскопа обладнана галогенною лампою потужність, яка дозволяє отримувати рівномірне та яскраве освітлення досліджуваної поверхні.

Підготовка зразків до металографічного аналізу передбачала декілька послідовних етапів:

- Вирізання зразків з основного металевого матеріалу
- Шліфування поверхні на абразивних колах з поступовим зменшенням зернистості
- Полірування на м'яких тканинах з використанням алмазних паст
- Травлення поверхні реактивом для виявлення мікроструктури

Процес дослідження включав фіксацію мікроструктури за допомогою цифрової камери, інтегрованої в оптичний тракт мікроскопа МИМ-7. Це дозволило проводити

детальний аналіз мікроструктурних особливостей та здійснювати точні вимірювання структурних складових.

Мікроскоп обладнаний механізмом предметного столика, що забезпечує точне переміщення зразка та прецизійне налаштування фокусування. Використання мікрометричних гвинтів дозволяє здійснювати мікроскопічні дослідження з високою точністю та repeatability результатів.

Особливістю методики є застосування різних методів контрастування та травлення, що дає змогу виявити тонкі особливості мікроструктури. Для сталей використовувались класичні реактиви на основі азотної та соляної кислот, які вибірково травляють різні структурні складові[18].

Результати металографічного аналізу записувались у цифровому форматі з прив'язкою до конкретних ділянок зразка, що дозволило провести статистичний аналіз мікроструктурних параметрів та зафіксувати найменші структурні зміни.

Обмеження мікроскопа МИМ-7 включають відносно невисоку роздільну здатність порівняно з сучасними електронними мікроскопами, що може ускладнювати дослідження надтонких структурних елементів. Однак для більшості металографічних досліджень цей мікроскоп залишається надійним та інформативним інструментом.

2.4 Дюрометричний аналіз

Метод визначення мікротвердості призначений для оцінки твердості дуже малих (мікроскопічних) обсягів матеріалів. В даній роботі визначення мікротвердості реалізовували в лабораторних умовах на приладі ПМТ-3.

Прилад ПМТ-3 (рис.2.4) працює за принципом вдавлення. Наконечником (індентором) служить алмазна пірамідка із квадратною основою й кутом при вершині

між протилежними гранями 136 град (метод Вікерса) [11]. Пірамідка вдавлювалася в зразок із навантаженням 0,5 Н, а час витримки під навантаженням 8 сек. Мікротвердість визначалася як середньоарифметичне значення для 30-40 одиничних вимірів діагоналей відбитків без видимих тріщин і сколів.

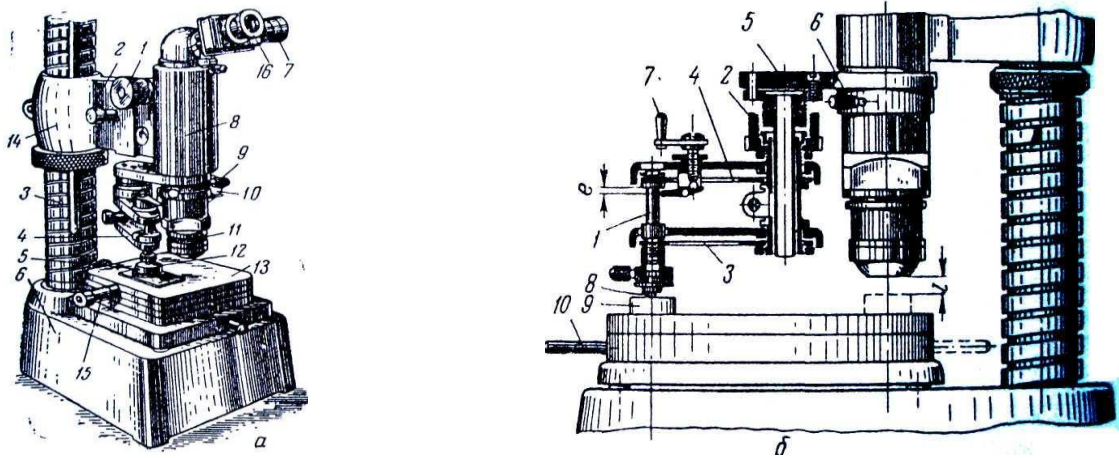


Рисунок 2.4 – Мікротвердомір ПМТ-3:

а - схема приладу: 1-макрогвинт; 2- мікрогвинт; 3-стійка; 4-механізм навантаження; 5-мікрошліф; 6- пластина; 7-рукоятка; 8-алмазний наконечник; 9- тубус; 10-гвинти центрування; 11-об'єктив; 12-алмазна пірамідка; 13-столик; 14-кронштейн; 15-мікромертичний гвинт предметного столика; 16- окуляр;

б - схема механізму навантаження: 1-шток; 2- гайка підйому навантаження; 3,4-пружні навантаження; 5-корпус; 6-центрувальний гвинт; 7-рукоятка; 8-алмазний наконечник; 9- мікрошліф; 10-ручка повороту предметного столика

Методика випробування мікротвердості на приладі ПМТ-3 [11]:

1. Досліджуваний зразок 5 (мікрошліф) закріпити на пластинці зі штифтами пластиліном. Строго паралельне положення поверхні шліфа стосовно площини предметного столика досягається вдавлюванням зразка в пластилін ручним пресом

2. Помістити пластинку із закріпленим зразком на предметний столик 13 так, щоб зразок 5 перебував під об'єктивом 11. Гвинтами грубої й тонкої подачі 1,2 домогтися гарної видимості структурної складової, твердість якої вимірюють.

3. Після того як обране місце дослідження, зразок разом із предметним столиком перемістити так, щоб це місце виявилось в точці перетину перехрестя окулярного мікрометра.

4. Встановити на верхній шток 1 алмазного наконечника вантаж, рівний 150г.

5. За допомогою ручки 10 предметний столик повернути приблизно на 180 град. (від одного упору до іншого).

6. Повільним поворотом рукоятки 7 від упору до упору опустити індентор 8, що під дією встановленого вантажу вдавлюється у випробувану поверхню й залишає відбиток приблизно квадратної форми, діагональ якого залежить від твердості випробуваної структурної складової. Витримка під навантаженням повинна становити 10-15 сек

Після закінчення витримки індентор підняти поворотом рукоятки 7 до вихідного положення. У протилежному випадку при повороті предметного столика 13 можна зламати алмазний наконечник 8 і подряпати шліф 9.

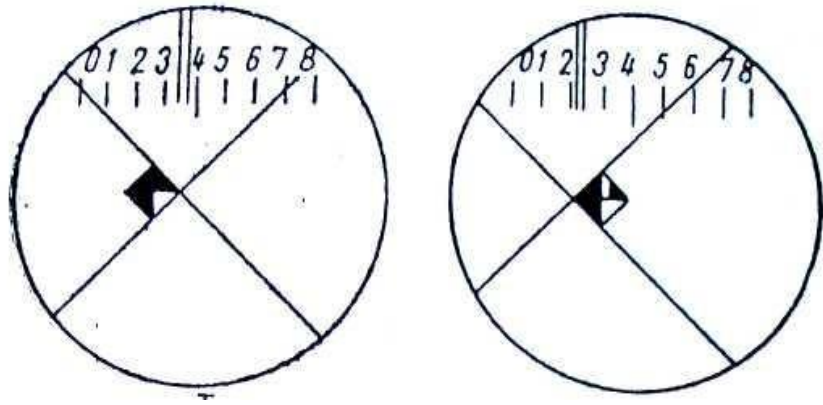


Рисунок 2.5 – Схема встановлення відбитків

7. Перемістити предметний столик 13 зі зразком 9 у вихідне положення; завдяки такому переміщенню шліф 9 на якому зроблений відбиток, встановлюють під об'єктив 11 у поле зору мікроскопа.

8. Пересуванням предметного столика 13 мікрогвинтами 15 і пересуванням перехрестя, видимого в окулярі 16 за допомогою вимірювального барабана окулярного мікрометра 7, встановити відбиток відносно перехрестя, потім обертанням вимірювального барабана перемістити перехрестя в нове положення і записати значення [17].

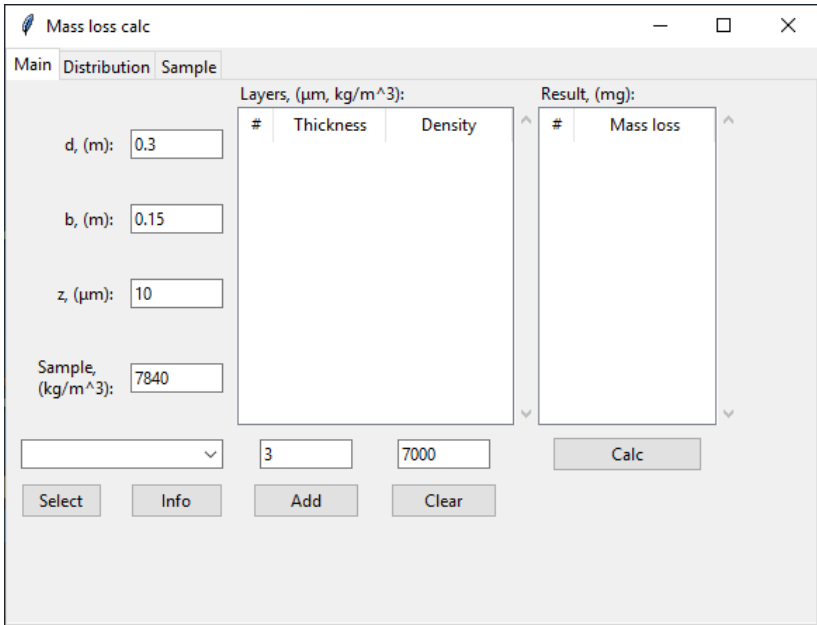
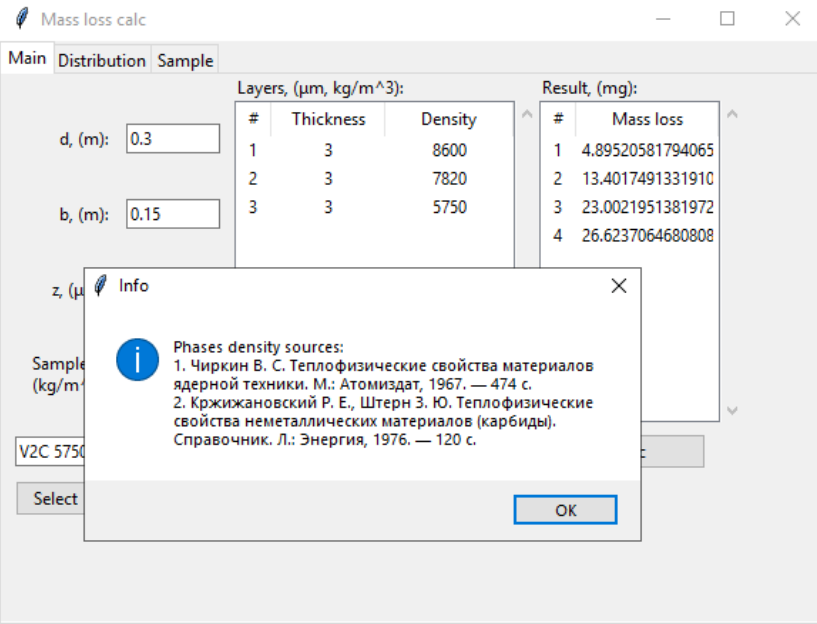
2.5 Визначення зносостійкості

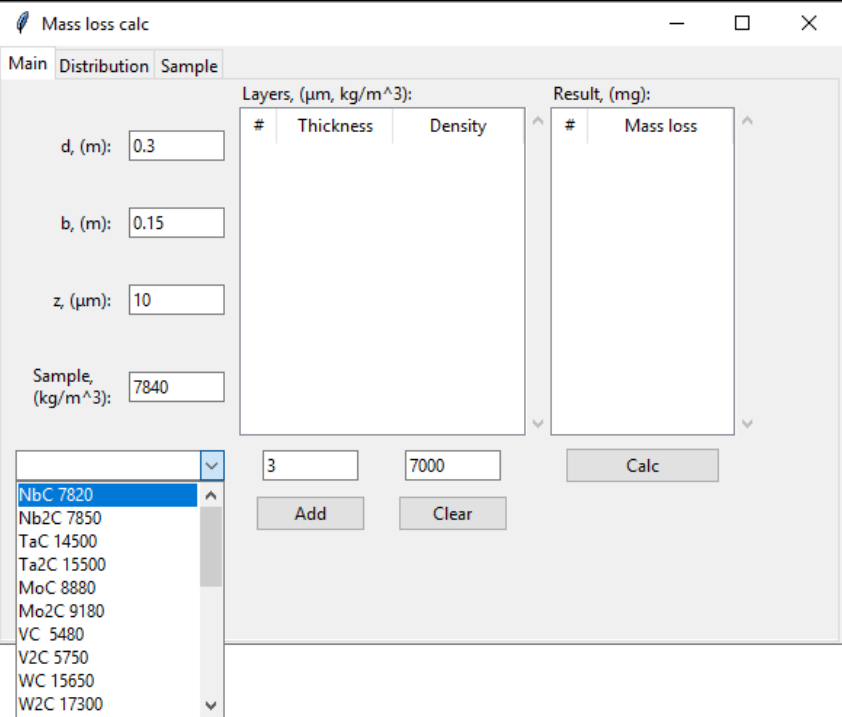
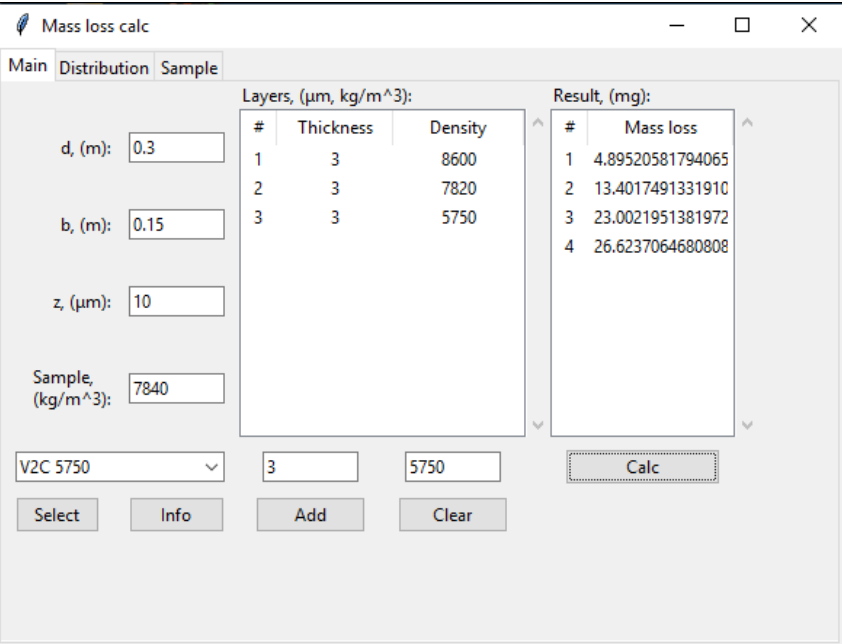
В даній роботі було проведено два типи визначення стійкості проти зношування.

На першому етапі реалізовували процес теоретичних розрахунків величини зносу. При цьому було задіяне авторське програмне забезпечення.

Послідовність та опис можливостей програми (табл. 2.3):

Поетапний опис програми з визначення зносостійкості

№	Опис	Скріншот відповідного опису
1	<p>Основна вкладка програми Main використовується для зазначення вихідних даних для розрахунку, а саме:</p> <p>d — діаметр зразка, b — довжина зразка, z — глибина розрахунку, Sample — щільність основи.</p>	
2	<p>Кнопка Info показує вікно з джерелами інформації щодо щільності шарів відповідного фазового складу захисного покриття.</p>	

3	<p>Натискаючи кнопку Info із «випадаючого» списку обираємо фазовий склад і відповідну йому щільність шару захисного покриття.</p>	
4	<p>Натискаємо кнопку Select щоб застосувати зміну. Список зберігається в файл phases.txt поруч з програмою який можна редагувати і зміни будуть відобразитися в програмі після перезапуску.</p>	

5 Під таблицею **Layers** в першому полі потрібно вказати товщину шару, а в другому його щільність (інформація із **Info**). Щоб додати наступний шар натиснути **Add**, щоб видалити непотрібну інформацію, очистити таблицю **Clear**.

Mass loss calc

Main Distribution Sample

Layers, (μm , kg/m^3):

#	Thickness	Density
1	3	8600
2	3	7820
3	3	5750

Result, (mg):

#	Mass loss
1	4.89520581794065
2	13.4017491331910
3	23.0021951381972
4	26.6237064680808

d, (m):

b, (m):

z, (μm):

Sample, (kg/m^3):

V2C

6 Після додавання всіх шарів захисного покриття натиснути кнопку **Calc** і результати обчислення з'являться в таблиці **Result**.

Mass loss calc

Main Distribution Sample

Layers, (μm , kg/m^3):

#	Thickness	Density
1	3	8600
2	3	7820
3	3	5750

Result, (mg):

#	Mass loss
1	4.89520581794065
2	13.4017491331910
3	23.0021951381972
4	26.6237064680808

d, (m):

b, (m):

z, (μm):

Sample, (kg/m^3):

V2C

7	<p>Вкладка Distribution дозволяє отримати графік з результатами обчислення, який показує розподіл втрати маси. Кнопками під графіком можна змінювати положення і масштаб, зберегти графік у вигляді зображення.</p>	
8	<p>Вкладка Sample дозволяє отримати схематичне зображення зразка з нанесеними на ньому шарами різного кольору захисного покриття і результат зношування (лунку зносу).</p>	

На другому етапі проводились реальні випробування в лабораторних умовах.

Розробка нових матеріалів трибOMETричного призначення, також як і оцінка поведінки при функціональному контакті, вимагає глибоких знань процесів, що протікають на контактній тилі, які труться при нормальній роботі, а також при переході до недопустимих видів зношення [17]. Кожний раз розробці нових матеріалів

вимагається дослідна експериментальна оцінка переваг матеріалу, що треться в умовах наближених до реальних умов експлуатації.

Одним з основних напрямків, який допомагає вирішити поставлене завдання, є вірна і обґрунтована послідовність проведення лабораторних трибометричних випробувань, підкріплених відповідними фізичними методами.

Поведінка реальної трибометричної системи (вузла тертя) або деякої її частини в таких експериментах моделюється за допомогою лабораторної випробуваної системи, яка в тій чи іншій мірі імітує її поведінку під час експлуатації. Вихідним етапом модельних випробувань є збір даних про реальні триботехнічні системи. З цією метою широко використовуються спеціальні установки - машини тертя, трибометри, які дозволяють змінювати умови роботи поверхонь, що труться в необхідному діапазоні швидкості і тиску при наявності певного робочого середовища.

Проведення "імітуючих", тобто близьких до реальних умов, випробувань виконувалися на машині тертя МТ-68 (рисунок 2.4) конструкція, якої дозволяє одночасно і незалежно вимірювати силу (коефіцієнт) тертя, зношення зразка і температуру в зоні контакту [19].

Основною частиною установки МТ-68 є вузол тертя (рис. 2.5) він розміщений на станині установки. На супорті (3), який переміщується по направляючих станини, розміщено такі основні вузли: направляючі (4), рухома каретка (15), опори шпінделя (14), механізм зворотньо-поступального руху з червячним редуктором (12). На супорті розміщена рукоятка притискача, який дозволяє фіксувати супорт в заданому положенні відносно станини і шпінделя.

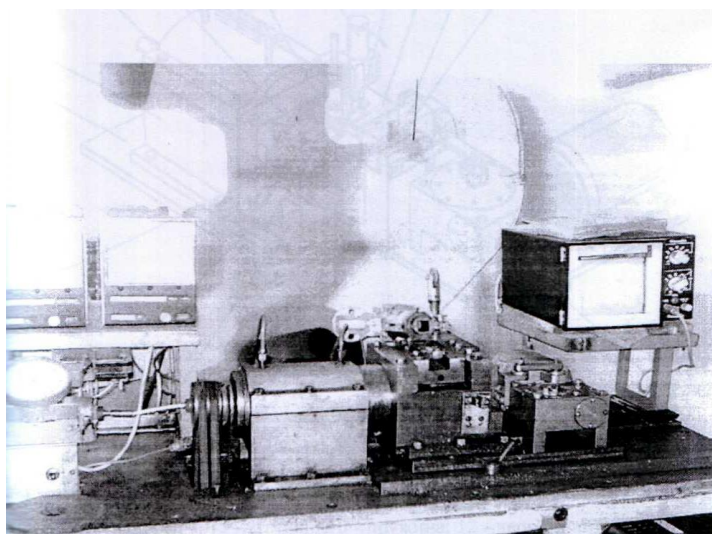


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження зносостійкості нанесеного покриття.

Робота здійснюється наступним чином. Обертання від двигуна постійного струму з регульованим числом обертів передається за допомогою клиноремінної передачі на вал 1 шпінделя машини. На валу шпінделя розміщене з'ємне контртіло (2). На бокових стінках рухомої каретки (15) закріплені направляючі (4) співвісні валу шпінделя. По направляючим (5) на шарнірах, розмішених в сепараторах має можливість обкатуватися коливальна каретка (6), на якій змонтовано навантажувальний пристрій (7), що представляє собою циліндр і поршень. До поршня за допомогою цангового зажиму (8) кріпиться випробовуваний зразок.

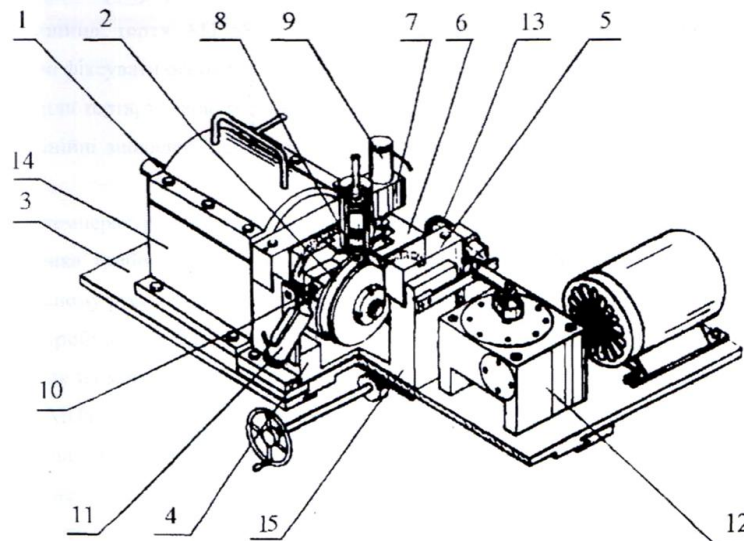


Рисунок 2.7 – Схема вузла тертя машини МТ-68: 1- вал; 2- контртіло; 3-супорт; 4, 5 - направляючі; 6 - коливальна каретка; 7 - навантажувальний пристрій; 8 - цанговий затискач; 9, 11, 13 - датчики; 10 - пружина; 12 - черв'ячний редуктор, 14 - опори шпінделя, 15 — рухома каретка

На коливальній каретці (6) розташовані індуктивні датчики (9), (11), (13) виміру сумарного лінійного зношення пари тертя [13].

Пружина (10) обмежує переміщення коливальної каретки під дією сили тертя зумовленої обертання контртіла (ролика), а індуктивний датчик (11), вимірює деформацію пружини, яка дозволяє визначити цю силу.

Зворотно - поступальний рух створюється низько оборотним електродвигуном з регулюючим числом обертів, черв'ячним редуктором (12) і кривошипним механізмом. Кривошип зв'язаний з вузлом тертя через пружній сило вимірювальний елемент - плоску пружину, деформація якої вимірюється індуктивним датчиком (13), що дозволяє визначати силу тертя, які виникають внаслідок зворотно - поступального руху зразка відносно контртіла.

Машина тертя МТ-68 дозволяє в процесі експерименту одночасно і незалежно фіксувати основні параметри процесу :

- сили тертя, за якою розраховується коефіцієнт тертя;
- лінійні зношення пари тертя, по якому визначають інтенсивність зношення зразка;
- температуру в зоні тертя.

Оцінка трибовластивостей може здійснюватися при обертовому, зворотно - поступальному русі, тож і при спільному русі, імітуючи процес різання матеріалу. Випробування на зносостійкість виробів з нітрид титановими покриттями виконували на машині терті МТ - 68 по схемі вал - вкладиш при навантаженні $P = 0,5-1,0$ МПа та швидкості ковзання $V = 10$ м/с. Матеріал контртіла - сталь 65Г, загартована та відпущена, твердість HRC 51, матеріали зразків сталь 14X17H2 і 15X16K5H2MBФAB-Ш. При цьому нанесення покриттів виконували на попередньо притерті до контртіла поверхні зразка. Вимірювання лінійного зношування зразків по абсолютним показникам виконували з використанням датчиків лінійного зношування, Датчик виміру лінійного зношення, як і датчик виміру сили тертя осі обертального і зворотно - поступального руху є стандартними індуктивними датчиками моделі 211. Кожний з них електрозв'язаний з електрописцем, який графічно, з заданим ступенем збільшення, відтворює лінійне переміщення щупа індуктивного датчика [14].

Температура пари тертя вимірюється за допомогою хромель – алюмелевої теплопари з діаметром електродів 0,1 мм, яка встановлена на відстані 0,20 - 0,25 мм від поверхні тертя. Показання температури реєструється за допомогою потенціометра. Реєстрацію значення сили тертя та лінійного зношення розпочинали з моменту стабілізації сили тертя та температури в зоні тертя.

Знос оцінювали по приведеному зносу – зміні лінійного розміру зразка, віднесених до довжини шляху тертя. Коефіцієнт тертя визначали як відношення сили тертя зафіксованої в процесі випробувань до навантаження, що задавали за допомогою навантажувального пристрою.

Після проведення триботехнічних випробувань поверхні тертя зразків досліджували металографічним та дюрOMETричним методами [18].

Висновки

У другому розділі детально описано матеріали дослідження та методи, що використовувались для їх аналізу. Основними об'єктами дослідження стали корозійностійкі сталі 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-III, які широко застосовуються в промисловості для виготовлення деталей, що працюють в агресивних середовищах та зазнають значних механічних навантажень. В роботі наведено хімічний склад цих сталей, детально описано їх фізико-механічні властивості, а також структурні особливості [11].

Значну увагу приділено технології термічної та хіміко-термічної обробки сталей. Розглянуто такі види термічної обробки, як відпал, гартування та відпуск, їх вплив на структуру та властивості сталей. Детально описано процес карбонітрації – хіміко-термічної обробки, яка забезпечує зміцнення поверхневого шару деталей шляхом насичення його вуглецем та азотом.

В розділі також представлено методи дослідження структури та властивостей сталей. Описано металографічний аналіз з використанням оптичного мікроскопа МИМ-7, який дозволяє вивчати мікроструктуру металів та сплавів. Розглянуто дюрOMETричний аналіз на приладі ПМТ-3 для вимірювання твердості матеріалів. Також описано методи визначення зносостійкості, які включають теоретичні розрахунки та лабораторні випробування на машині тертя МТ-68. Всі ці методи дозволили комплексно оцінити вплив хіміко-термічної обробки на властивості досліджуваних сталей.

Обидві сталі відрізняються високими експлуатаційними властивостями, але мають різну сферу застосування. Сталь 14X17H2 є більш універсальною, тоді як сталь 15X16K5H2MBФAB-III використовується в умовах підвищених температур і агресивного середовища.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Результати металографічного та дюрOMETричного аналізів сталей після термічної обробки

Дослідження проведено на зразках сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-Ш з метою вивчення впливу комплексної хіміко-термічної обробки [20] на їхні механічні властивості. Експериментальну частину роботи виконано з урахуванням методології, апробованої в попередніх дослідженнях сталей.

Перед хіміко-термічною обробкою, зразки піддавали термічній обробці. Мета багатоступеневої термічної обробки полягала у формуванні оптимальної структури металу з підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Для сталі 14X17H2 термічна обробка складалась з наступних етапів:

1) Відпал: відпал здійснюється при температурі 800°C впродовж 5 годин. Процес відпалу допомагає зняти внутрішню напругу і сприяє формуванню мікроструктури, однорідної за хімічним складом, розмірами і формою (рис. 3.1). Після відпалу твердість була визначена на рівні 255 HB [21].

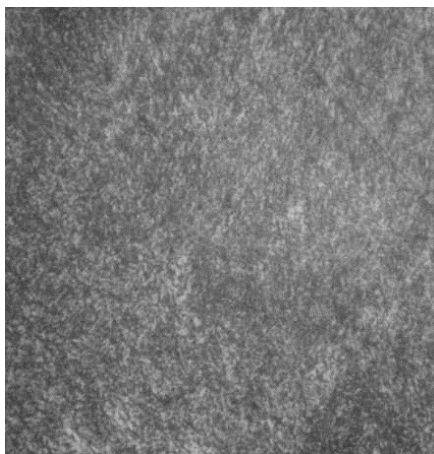


Рисунок 3.1 — Структура сталі 14X17H2 після відпалу, x100

2) Гартування при 1020-1050°C (час витримки 30 хвилин):

Гартування – це процес швидкого охолодження, який слідує за етапом нагрівання. Зразок нагрівається до діапазону температур 1020-1050°C, а потім швидко охолоджується шляхом занурення в гартівне середовище масло. Цей процес дозволяє отримати бажану структуру. Результатом обробки стало утворення кінцевої структури, що складається з мартенситу та карбідів [22].

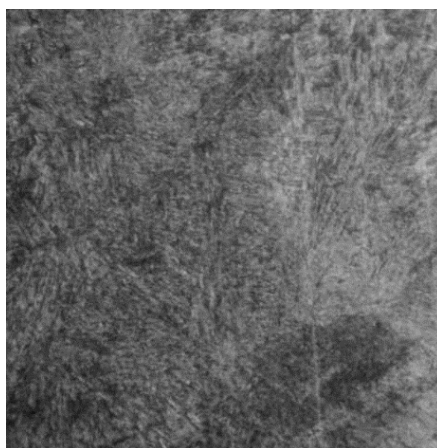


Рисунок 3.2 — Структура сталі 14X17H2 після гартування, x500

Мартенсит гартування — це високотверда структура. Крім того, в загальне значення твердості сталі 14X17H2 після гартування зробили свій внесок карбіди: $Cr_{23}C_6$ та Cr_7C_3 . Дещо зменшує загальну твердість, після гартування, структура фериту, яка залишається після зміцнення [36].

Твердість сталі 14X17H2 після гартування становить 61-63 HRC [23].

3) Обробка холодом. Загартовану деталь поміщають в термоізольовану ємність, заповнену сухим льодом з температурою до -70°C. Для кращого теплообміну можна використовувати суміш сухого льоду з ізопропіловим спиртом або іншими рідинами з низькою температурою замерзання.

4) Високий відпуск при 600°C (час витримки 2 години):

Відпуск є наступним процесом після гартування. Загартований зразок нагрівають до температури 600°C і витримують при цій температурі протягом 2 годин. Відпуск зменшує крихкість матеріалу і підвищує його в'язкість, зменшуючи при цьому твердість. Структура сталі 14X17H2 – сорбіт відпуску (рис.3.3).

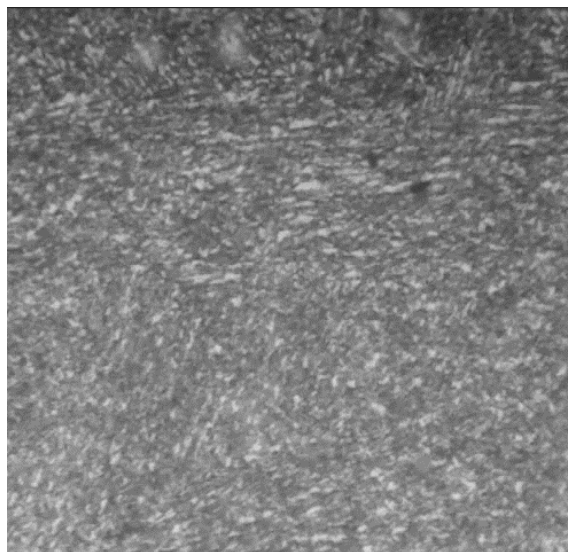


Рисунок. 3.3 — Структура сталі 14X17H2 після термополіпшення, х500

Після повної термічної обробки твердість основи сталі 14X17H2 становить 30-40 HRC.

Після відповідної термічної обробки сталей в роботі була реалізована хіміко-термічна обробка [22].

Після карбонітрації на поверхні формується захисне покриття товщиною 40-50 мкм. Покриття складається з декількох шарів. Верхній шар до 5 мкм являє собою оксидну фазу типу Fe_3O_4 під яким, розташовується ϵ -фаза типу $\text{Fe}_2(\text{N}, \text{C})$ товщиною до 10 мкм, далі зона γ' -фаза типу $\text{Fe}_4(\text{N}, \text{C})$ товщиною до 40 мкм [24]. Під карбонітнідним шаром знаходиться дифузійна зона, що складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітнідних фаз.

В результаті даної термічної обробки формується структура мартенсит відпуску, карбіди хрому; на поверхні утворюються карбонітриди легуючих елементів та заліза. При цьому визначено, що твердість основи становить 30-40 HRC. В результаті карбонітрації сталі 14X17H2 на поверхні формується захисний шар товщиною 40-50 мкм мікротвердістю 800-900 HV, на сталі 15X16K5H2МВФАБ-Ш шар товщиною 30-40 мкм мікротвердістю 1000-1200 HV [25].

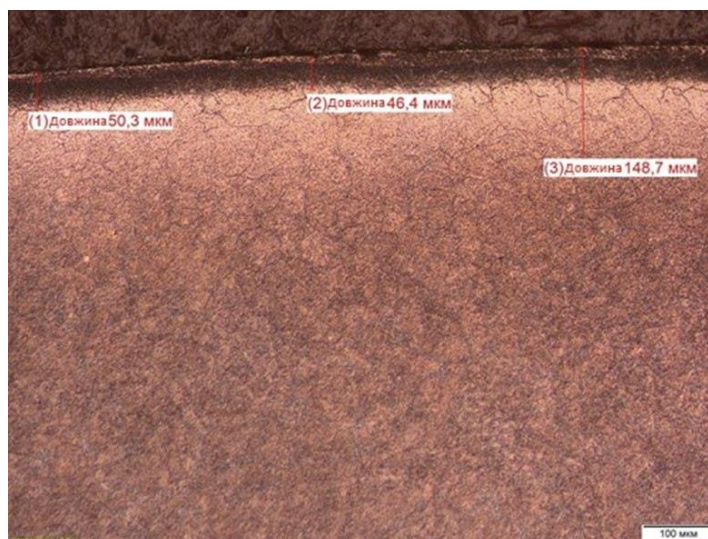


Рисунок 3.4 – Мікроструктура сталі 14X17H2 після карбонітрації

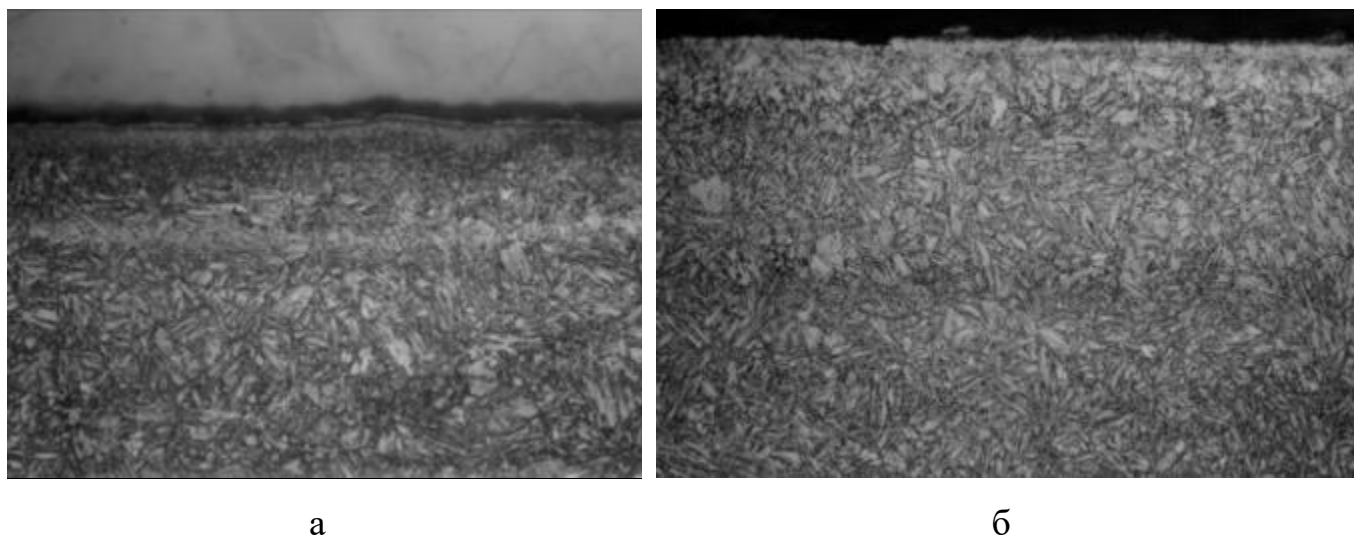


Рисунок 3.5 – Мікроструктура сталі 15X16K5H2МВФАБ-Ш після карбонітрації: а- x100, б- x 500

3.2 Вплив параметрів процесу насичення на товщину та мікротвердість захисних покриттів

В роботі було проаналізовано вплив тривалості карбонітрації при температурі 580⁰ С на товщину і мікротвердість захисних покриттів сталей. Обґрунтування доцільності використаних технологічних параметрів карбонітрації реалізовували порівнянням товщини і мікротвердості покриттів, після ХТО впродовж 7, 9 та 11 годин насичення.

Формування карбонітрованого покриття супроводжується підвищенням мікротвердості, яке досягається за рахунок утворення стабільних фаз, таких як карбіди та нітриди. Залежність мікротвердості від тривалості насичення встановлена експериментально за допомогою вимірів за методом Віккерса (HV):

- при 7 годинах: мікротвердість 750 HV;
- при 9 годинах: мікротвердість 820 HV;
- при 11 годинах: мікротвердість 850 HV.

При тривалості насичення 11 годин досягається максимальна мікротвердість. Однак подальше збільшення часу може спричинити перенасичення поверхневого шару, що призводить до деградації механічних властивостей, таких як зносостійкість [24].

Товщина дифузійного покриття при карбонітрації зростає з часом, але зі зменшенням швидкості росту. Це пов'язано з тим, що з часом концентрація атомів вуглецю та азоту в поверхневому шарі сталі збільшується, що ускладнює подальшу дифузію.

Для сталі 14X17H2 залежність товщини дифузійного покриття від часу карбонітрації може бути описана наступним чином:

- 7 годин - 0,5 мм
- 9 годин - 0,55 мм
- 11 годин - 0,55 мм

Для сталі 15X16K5H2MBФАБ-Ш залежність може бути такою:

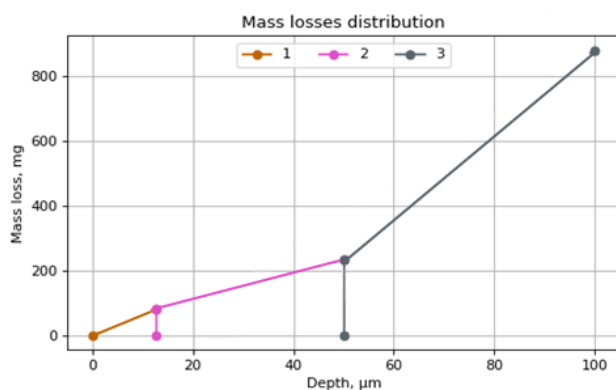
- 7 годин - 0,4 мм; 9 годин - 0,45 мм; 11 годин - 0,45мм

Результати експериментальних досліджень демонструють, що збільшення тривалості насичення забезпечує поступове наростання товщини зміцненого шару. Але збільшення часу витримки до 11 годин не призводить до збільшення товщини покриття. Захисні шари [25], що утворилися напередодні майже не зростають. Проте слід враховувати, що збільшення тривалості процесу супроводжується підвищенням енергетичних витрат, що знижує економічну ефективність. Таким чином режим карбонітрації корозійностійких сталей 580°C 9 годин є оптимальним.

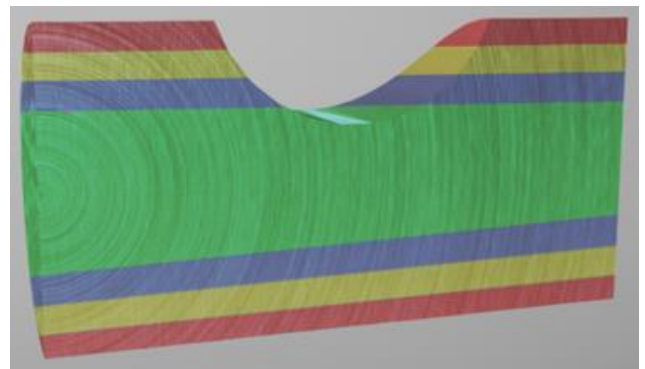
3.3 Результат визначення зносостійкості

За допомогою програмного забезпечення було проведено визначення та графічне зображення ступеня зносостійкості відповідно до шарів металу (рис 3.3, 3.4).

Висновком до графічної частини можна зазначити те, що зовнішні шари металу, які були азотовані, втратили набагато менше своєї маси, ніж основний шар металу, який не був задіяний під час хіміко термічної обробки.

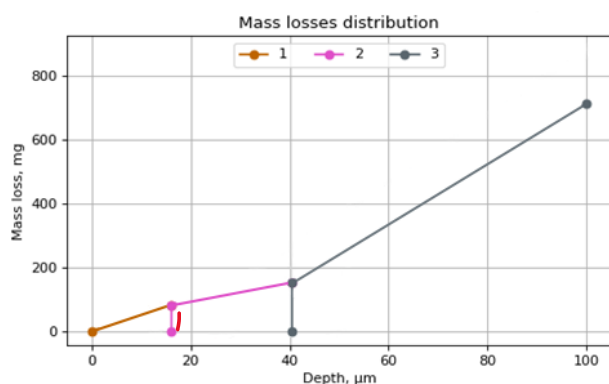


а

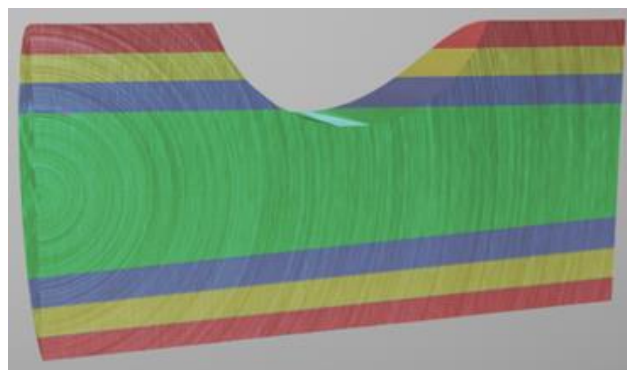


б

Рисунок 3.6 – Результати визначення зносостійкості в програмному забезпеченні: а - графік зменшення маси зразків сталі 14X17H2 при випробуванні на зносостійкість (1 – зовнішній шар $\text{Fe}_2(\text{N},\text{C})$; 2 – шар $\text{Fe}_4(\text{N},\text{C})$; 3 – основа, сталь 14X17H2); б – схематичне зображення випробуваної заготовки зі сталі 14X17H2



а

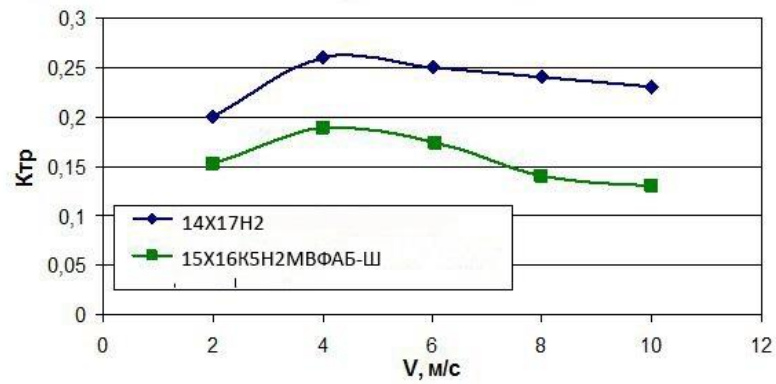


б

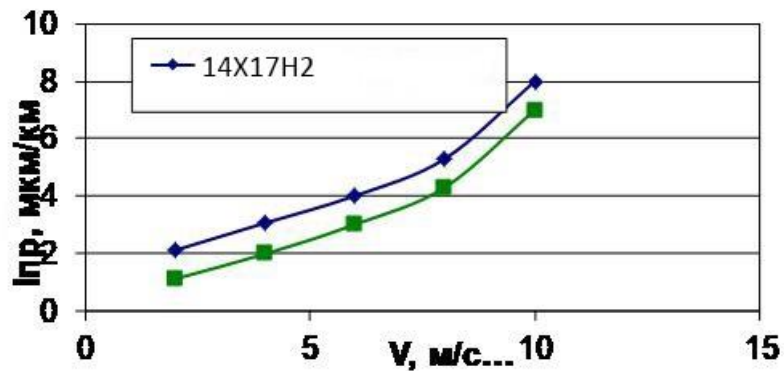
Рисунок 3.7 – Результати визначення зносостійкості в програмному забезпеченні: а - графік зменшення маси зразків сталі 15X16K5H2MBФАБ-Ш при випробуванні на зносостійкість (1 – зовнішній шар $\text{Fe}_2(\text{N,C})$; 2 – шар $\text{Fe}_4(\text{N,C})$; 3 – основа, сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш); б – схематичне зображення випробуваної заготовки зі сталі 15X16K5H2MBФАБ-Ш

З метою визначення характеристики зносостійкості покриттів у роботі були проведені триботехнічні дослідження зразків зі сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФАБ-Ш з покриттями після карбонітрації [26].

В умовах тертя ковзання без змащування за схемою із попереднім притиранням контактних поверхонь найбільше низькі значення коефіцієнта тертя для прийнятих у роботі швидкостей ковзання (5-15 м/с) [27] і діапазону навантажень (0,5-1,0 МПа) були встановлені для покриттів на сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФАБ-Ш. Більш низькі значення зносостійкості відзначені у зразках сталі 14X17H2Ш (рис. 3.8).



(а)



(б)

Рисунок 3.8 – Характеристики зносостійкості корозійностійких сталей: синя лінія 14X17H2, зелена 15X16K5H2MBФAB-Ш з покриттями після карбонітрації, а) коефіцієнт тертя; б) приведений знос

У лунках зношування сталей після карбонітрації можна спостерігати лінії мікрорізання, спрямовані по ходу тертя, що характерно для переважаючого абразивного типу зношування. Як абразив виступають окремі частинки покриття, відокремлені від основи при випробуванні. Відстань між ризиками-слідами різання значні. Можна вважати, що абразивний характер зношування за цією методикою випробування буде визначальним [28].

Висновки

У третьому розділі досліджено вплив хіміко-термічної обробки (карбонітрації) на механічні властивості сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-III.

Встановлено, що попередня багатоступенева термічна обробка (відпал, гартування, відпуск) дозволяє отримати оптимальну структуру сталей з покращеними фізико-механічними характеристиками. Карбонітрація призводить до формування на поверхні сталей захисного шару товщиною до 30-50 мкм, що складається з оксидної, епсилон (ϵ), гамма-фази (γ') та дифузійної зони. В результаті карбонітрації твердість поверхневого шару сталі 14X17H2 збільшується до 800-900 HV, а сталі 15X16K5H2MBФAB-III – до 1000-1200 HV.

Досліджено вплив тривалості насичення при карбонітрації. Збільшення тривалості насичення до 11 годин не призводить до зростання товщини покриття. Мікротвердість поверхні при цьому збільшується в незначній ступені. Таким чином режим запропонованої в роботі карбонітрації корозійностійких сталей 580⁰ С 9 годин є оптимальним.

Проведено триботехнічні дослідження зносостійкості покриттів після карбонітрації. Встановлено, що найбільш низькі значення коефіцієнта тертя та високу зносостійкість мають покриття на основі карбіду та нітриду титану.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки технологічних рекомендацій щодо термічної обробки деталей з корозійностійких сталей з метою підвищення їх зносостійкості та теплостійкості.

Вплив карбонітрації на підвищення зносостійкості сталей підтверджений за допомогою програмного забезпечення і співпадає з експериментально отриманими.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт

Науково-дослідна робота присвячена дослідженню технологічних методів термічної обробки сталей [29] марок 14x17н2 та 15x16к5н2мвфаб-ш, що спрямована на вдосконалення процесів термічної обробки та підвищення експлуатаційних характеристик деталей машинобудування.

4.2 Склад витрат на проведення науково-дослідницької роботи

Витрати на проведення науково-дослідницької роботи включають наступні складові [30]:

1. Витрати на теоретичні дослідження
2. Витрати на лабораторні дослідження
3. Матеріальні витрати
4. Витрати на електроенергію
5. Заробітна плата персоналу
6. Накладні витрати

4.3 Розрахунок матеріальних витрат

4.3.1 Основні матеріали

Для проведення досліджень використовуються зразки сталей розмірами 25 мм (висота) та 15 мм (діаметр). Розрахунок маси зразків проводиться на основі їх геометричних параметрів та густини матеріалу [31].

Розрахунок об'єму зразків:

- Висота (h) = 25 мм
- Діаметр (d) = 15 мм
- Радіус (r) = $d / 2 = 15 \text{ мм} / 2 = 7,5 \text{ мм}$

Об'єм циліндра розраховується за формулою:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Підставляємо значення:

$$V = 3,14 \times (7,5 \text{ мм})^2 \times 25 \text{ мм}$$

$$V = 3,14 \times 56,25 \text{ мм}^2 \times 25 \text{ мм}$$

$$V = 4417,875 \text{ мм}^3$$

Переводимо об'єм у кубічні сантиметри ($1 \text{ см}^3 = 1000 \text{ мм}^3$):

$$V = 4417,875 \text{ мм}^3 = 4,417875 \text{ см}^3$$

Розрахунок маси зразків:

Щоб визначити масу, потрібно знати густину матеріалу. Для сталі густина становить приблизно $7,85 \text{ г/см}^3$.

Маса одного зразка:

$$m = V \times \rho$$

$$m = 4,417875 \text{ см}^3 \times 7,85 \text{ г/см}^3$$

$$m = 34,67 \text{ г}$$

Для двох зразків (2 кг):

$$m_{\text{загальна}} = 34,67 \text{ г} \times 2 = 69,34 \text{ г}$$

Переводимо у кілограми ($1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$):

$$m_{\text{загальна}} = 69,34 \text{ г} = 0,06934 \text{ кг}$$

Розрахунок ціни на матеріали:

Тепер можна розрахувати вартість матеріалів, виходячи з ціни за кілограм:

1. Сталь 14X17H2:

- Ціна за кілограм: 180 грн
- Вартість для 0,06934 кг:

$$\text{Вартість} = 0,06934 \text{ кг} \times 180 \text{ грн/кг} = 12,48 \text{ грн}$$

2. Сталь 15X16K5H2MBФАБ-Ш:

- Ціна за кілограм: 220 грн
- Вартість для 0,06934 кг:

$$\text{Вартість} = 0,06934 \text{ кг} \times 220 \text{ грн/кг} = 15,25 \text{ грн}$$

Таблиця 4.1

Найменування матеріалу	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Сталь 14x17h2	кг	0,06934	180	12,48
Сталь 15x16k5h2mvfab-ш	кг	0,06934	220	15,25
Сухий лід	кг	5	50	250
Допоміжні матеріали	комплект	1	500	500
Всього				777,73

4.3.2 Розрахунок витрат на електроенергію

Розрахунок проводиться за формулою:

$$\text{Вел} = \Sigma(P \times t \times \text{Ц})$$

Таблиця 4.2

Обладнання	Потужність, кВт	Час роботи, год	Ціна, грн/кВт	Сума, грн
Піч ЦШС5.5.25- 6,5 (карбонітрація)	27	2	4,32	233,28
Піч СНО 7.4.10- 11 (гартування)	27	1	4,32	116,64
Піч СШС 6.20 (нейтралізація)	27	1	4,32	116,64
Всього				466,56

4.4 Розрахунок заробітної плати

Таблиця 4.3

Посада	Годинна ставка, грн	Кількість годин	Сума, грн
Науковий співробітник	150	40	6000
Лаборант	80	20	1600
Консультант	200	10	2000
Всього			9600

4.5 Зведений кошторис витрат

Таблиця 4.4

Стаття витрат	Сума, грн	Частка, %
Матеріали	777,73	16,5

Електроенергія	466,56	3,9
Заробітна плата	9600	79,6
Накладні витрати (25%)	1211,07	10,0
Всього	12445,7	100

4.6 Економічна ефективність

Економічний ефект [32] від впровадження розробленої технології термічної обробки визначається:

1. Підвищенням довговічності деталей
2. Покращенням фізико-механічних властивостей
3. Зменшенням витрат на переробку та брак

Орієнтовний економічний ефект становить до 20% від вартості базової технології виготовлення деталей [33].

Висновки

У четвертому розділі було проведено економічне обґрунтування дослідження. Визначено основні статті витрат на проведення науково-дослідної роботи, а саме: матеріали, електроенергія, заробітна плата та накладні витрати. Розраховано вартість матеріалів з урахуванням їх кількості та ціни. Визначено витрати на електроенергію, враховуючи потужність обладнання, час роботи та тариф. Також розраховано заробітну плату персоналу, задіяного у дослідженні. Загальна сума витрат на проведення науково-дослідної роботи становить 12445,7 грн. Основну частину витрат становить заробітна плата (79,6%), потім матеріали (16,5%), накладні витрати (3,9%) та електроенергія (10,0%). Економічний ефект від впровадження розробленої технології термічної обробки полягає у підвищенні довговічності деталей, покращенні фізико-механічних властивостей та зменшенні витрат на переробку та брак. Орієнтовний економічний ефект становить до 20% від вартості базової технології виготовлення деталей.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Охорона праці, безпека та збереження навколишнього середовища є ключовими аспектами виробничої діяльності, особливо в галузях, пов'язаних із термічною та хіміко-термічною обробкою металів [34]. Ці процеси супроводжуються впливом високих температур, використанням хімічно активних речовин і високовольтного обладнання, що створює значний ризик для здоров'я працівників та стану довкілля.

Шкідливі й небезпечні фактори виробничого середовища включають вплив аерозолів, випаровувань, газів, шуму, високих температур, електромагнітного випромінювання, а також ризики, пов'язані з роботою з рухомими частинами обладнання. Ці фактори можуть призводити до травм, професійних захворювань, а також до аварійних ситуацій на підприємствах [34].

Дотримання вимог з охорони праці та впровадження комплексних заходів безпеки дозволяє мінімізувати вплив небезпечних виробничих факторів, зменшити кількість нещасних випадків [35] та забезпечити комфортні умови праці. Водночас впровадження екологічно чистих технологій і раціональне використання ресурсів є важливим кроком для збереження навколишнього середовища.

У цьому розділі розглянуто основні принципи організації безпечної роботи під час термічної обробки металів, вимоги до технологічних процесів, аспекти охорони довкілля та заходи з попередження надзвичайних ситуацій .

5.1 Техніка безпеки при термічній обробці металів

Процеси термічної та хіміко-термічної обробки металів супроводжуються низкою небезпечних і шкідливих факторів, які можуть впливати на працівників та обладнання [36]. До основних небезпек належать:

- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;

- ризик ураження електричним струмом через високі рівні напруги в електричних ланцюгах;
- шкідливий вплив високих температур та хімічно активних речовин;
- підвищений рівень шуму, недостатнє освітлення;
- ризики займання або вибуху внаслідок використання гартівних масел, горючих газів чи інших небезпечних матеріалів.

Загальні вимоги безпеки

Під час виконання технологічних операцій необхідно забезпечувати такі умови:

1. Огородження обладнання

- Рухомі частини обладнання мають бути захищені спеціальними кожухами або бар'єрами, щоб уникнути випадкових травм.
- Використання блокувальних пристроїв для припинення роботи в разі аварійної ситуації.

2. Захист від електричних ризиків [37]

- Застосування захисного заземлення для всього електрообладнання.
- Регулярна перевірка ізоляції та технічного стану електроустановок.
- Оснащення обладнання автоматичними системами відключення у разі короткого замикання чи перевантаження.

3. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Працівники повинні використовувати термостійкі рукавиці, захисні окуляри, каски, протишумні навушники, а також спецодяг з термоізоляційними властивостями.

4. Організація робочого місця

- Забезпечення належного освітлення робочої зони відповідно до вимог СНіП 23-05 (освітленість не менше 200 лк).

- Створення комфортного мікроклімату, включаючи вентиляцію та системи кондиціонування.
- Своєчасне прибирання робочих місць та проходів, щоб уникнути травмонебезпечних ситуацій.

5. Попередження аварійних ситуацій

- Установлення систем пожежогасіння та наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників).
- Обладнання сигналізацією і засобами блокування для запобігання перевищенню температури, тиску або концентрації небезпечних речовин у робочій зоні.

Інструктаж і навчання

Для зниження ризиків травмування працівники мають проходити регулярні інструктажі з техніки безпеки. Інструктажі повинні охоплювати:

- ознайомлення з технологічними процесами та вимогами охорони праці;
- навчання правильному використанню обладнання та ЗІЗ;
- дії у разі аварійних ситуацій, включаючи евакуацію та використання засобів першої допомоги.

Дотримання зазначених заходів дозволяє знизити ризики, пов'язані з термічною обробкою металів, і забезпечити безпечну роботу в умовах підвищеної небезпеки [35].

5.2. Охорона праці та здоров'я персоналу

Організація охорони праці є одним із найважливіших напрямів забезпечення безпечної роботи працівників у термічних цехах [36]. Систематичний контроль за умовами праці, забезпечення комфортного мікроклімату, застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і створення безпечних робочих місць дозволяють значно знизити ризики травм та професійних захворювань.

Мікроклімат виробничих приміщень

Умови мікроклімату безпосередньо впливають на самопочуття працівників та їхню продуктивність. Відповідно до нормативів, температура повітря в робочій зоні не повинна перевищувати допустимих значень, які встановлюються залежно від категорії виконуваних робіт.

- Для роботи в гарячих цехах передбачено системи вентиляції та кондиціонування повітря, які знижують температуру та видаляють шкідливі речовини.
- На постійних робочих місцях можуть бути встановлені системи повітряного душення для захисту працівників від перегрівання.
- У разі роботи з холодними середовищами або при обробці деталей холодом ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) забезпечується додаткове теплоізоляційне обладнання та спецодяг [38].

Освітлення робочої зони

Недостатнє освітлення або його погана якість можуть стати причиною зорової втоми, зниження продуктивності праці та збільшення кількості помилок. Для термічних цехів передбачено:

- Природне освітлення через світлові прорізи, оснащені сонцезахисними пристроями.
- Штучне освітлення, що забезпечує освітленість робочих місць не менше 200 лк.
- Додаткове підсвічування для приладів, шкал і датчиків, розташованих у контрольних зонах.
- Використання люмінесцентних ламп або ламп розжарювання із захисними екранами.

Захист від шуму

Підвищений рівень шуму на робочому місці може негативно впливати на здоров'я працівників, викликаючи втому, зниження уваги та розвиток захворювань слуху. Для зниження рівня шуму використовуються:

- Звукоізоляційні матеріали для облицювання приміщень.
- Використання обладнання з низьким рівнем шуму.
- Видача працівникам протишумових навушників або вкладок.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [34]

Усі працівники термічних цехів забезпечуються ЗІЗ, що відповідають умовам їхньої роботи:

- Захисний одяг із термостійких матеріалів для роботи при високих температурах.
- Спецвзуття з нековзною підошвою для роботи на рифлених чи слизьких поверхнях.
- Захисні рукавички, окуляри та екрани для роботи з хімічними речовинами або нагрітими матеріалами.
- Респіратори для захисту органів дихання від аерозолів, пилу чи газів.

Медичне забезпечення

Регулярне проведення медичних оглядів є важливим елементом охорони праці [38]. Працівники, які працюють у шкідливих або небезпечних умовах, повинні проходити медичний огляд:

- Перед прийняттям на роботу для визначення професійної придатності.
- Періодично, щоб вчасно виявляти професійні захворювання або погіршення стану здоров'я.

У термічних цехах також передбачено обладнання медичних пунктів для надання першої допомоги в разі нещасного випадку.

Організація безпечного робочого місця

Робочі місця в термічних цехах організуються відповідно до вимог безпеки праці:

- Забезпечується вільний доступ до зон обслуговування обладнання.
- Проходи та робочі майданчики маркуються контрастними смугами.
- Усі робочі зони обладнуються системами локального та загального вентиляційного відсмоктування.
- Використовується автоматизація та дистанційне управління для зменшення контакту працівників з небезпечними зонами.

Інструктаж і навчання персоналу

Для забезпечення належного рівня безпеки працівники проходять:

- Вступний інструктаж з охорони праці перед початком роботи.
- Планові інструктажі з техніки безпеки.
- Надзвичайний інструктаж у разі впровадження нових технологій чи змін у виробничому процесі.

Дотримання вищезазначених заходів сприяє мінімізації впливу небезпечних і шкідливих факторів на здоров'я працівників та створює комфортні умови праці в термічних цехах.

5.3. Охорона довкілля

Процеси термічної та хіміко-термічної обробки металів мають значний вплив на довкілля [35]. Це обумовлено утворенням шкідливих викидів у повітря, стічних вод із вмістом небезпечних речовин, а також великим споживанням енергоресурсів і води. Охорона довкілля в цій сфері є важливим завданням, що потребує впровадження ефективних заходів для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Попередження забруднення атмосферного повітря

Виробничі процеси в термічних цехах супроводжуються виділенням шкідливих газів, парів і аерозолів. Основними джерелами забруднення є:

- гази, що утворюються під час нагрівання та хіміко-термічної обробки;

- викиди від печей і установок, що працюють на газовому чи рідкому паливі;
- випаровування мастильних і гартівних середовищ.

Для зменшення викидів у повітря впроваджуються такі заходи:

1. Системи газоуловлювання та газоочищення

- Встановлення фільтрів і скрубєрів для очищення повітря від шкідливих домішок.
- Використання систем локальної витяжної вентиляції для безпосереднього збору шкідливих речовин біля джерел їхнього виділення.

2. Використання екологічно чистих технологій

- Замінення технологій із великим рівнем газовиділення на сучасні, що забезпечують зниження шкідливих викидів.
- Використання низькотемпературних режимів термічної обробки, які зменшують утворення побічних продуктів [36].

3. Покращення теплоізоляції обладнання

- Це дозволяє зменшити втрати тепла та знизити обсяг енергоспоживання, що сприяє зменшенню викидів CO₂.

Очищення стічних вод

Термічні цехи є джерелами утворення виробничих стічних вод, що містять розчини кислот, лугів, солей, мастил та інші забруднювальні речовини. Для попередження забруднення водних ресурсів передбачені такі заходи:

1. Системи очищення стічних вод

- Відстоювання та фільтрування води для видалення твердих домішок.
- Хімічна нейтралізація шкідливих речовин у стічних водах.
- Біологічна очистка для видалення органічних забруднювачів.

2. Замкнені системи водопостачання

- Використання оборотних систем водопостачання дозволяє мінімізувати обсяги стічних вод і зменшити водозабір із природних джерел.

3. Рекуперація води

- Відновлення та повторне використання води, що пройшла очищення, для технологічних або комунальних потреб.

Управління відходами виробництва [37]

Під час термічної обробки металів утворюються тверді та рідкі відходи, які можуть мати небезпечні властивості. Для зменшення їхнього впливу на довкілля впроваджуються такі методи:

1. Сортування та переробка відходів

- Виділення металевих залишків для повторного використання.
- Переробка використаних гартівних масел і охолоджувальних рідин.

2. Утилізація небезпечних відходів

- Відходи, що містять токсичні речовини, піддаються спеціальному знешкодженню або утилізуються на спеціалізованих полігонах.

3. Зменшення кількості відходів

- Впровадження технологій замкненого циклу виробництва, що дозволяє мінімізувати обсяг відходів.

Енергоефективність та економія ресурсів

Процеси термічної обробки є енергоємними, тому підвищення енергоефективності є важливим напрямом зменшення впливу на довкілля. Основні заходи включають:

1. Скорочення теплових втрат

- Застосування сучасних ізоляційних матеріалів для печей та іншого обладнання.

- Використання вторинного тепла для підігріву води чи повітря в системах опалення.

2. Оптимізація режимів роботи обладнання

- Зменшення часу роботи печей на холостому ході.
- Використання автоматизованих систем контролю для оптимізації витрат енергії.

3. Перехід на альтернативні джерела енергії

- Використання сонячної енергії чи біопалива для забезпечення роботи допоміжних систем.

Збереження природних ресурсів

Збереження природних ресурсів є одним із найважливіших аспектів охорони довкілля. Раціональне використання природних ресурсів передбачає ряд заходів. Зокрема, варто звернути увагу на скорочення водозабору шляхом впровадження замкнених циклів водопостачання [35]. Це дозволить не лише зберегти водні ресурси, але й знизити витрати на їх очищення. Крім того, важливим є використання енергоощадного обладнання та технологій, що сприяє зменшенню споживання енергії та, відповідно, зменшенню негативного впливу на довкілля. Не менш важливим є раціональне використання металів. Це передбачає зниження обсягів браку під час виробництва та максимальне використання залишків металу, що дозволяє скоротити видобуток нових руд.

5.4. Пожежна та вибухобезпека

Процеси термічної та хіміко-термічної обробки металів створюють підвищений ризик пожеж та вибухів. Основними причинами таких ситуацій є висока температура обладнання, використання горючих матеріалів (гартівні масла, гази) і неправильна експлуатація техніки.

Для забезпечення пожежної та вибухобезпеки на виробництві необхідно:

- **Обладнати цехи системами пожежогасіння**, що включають автоматичні спринклери та порошкові вогнегасники. Мінімальна кількість вогнегасників у термічному цеху становить 1 одиниця на кожні 50 м².
- **Використовувати масла з температурою спалаху не нижче 170 °С**. У разі використання спеціальних масел для ступеневого загартування допустима температура їх роботи до 180 °С.
- **Забезпечити наявність аварійних зливних пристроїв у гартівних ваннах**, щоб уникнути займання масла під час перегріву.
- **Підтримувати допустиму концентрацію кисню у вибухонебезпечних зонах**, яка не повинна перевищувати 12 %.
- **Проводити регулярну перевірку вентиляційних систем** для видалення парів і газів, які можуть створити вибухонебезпечну суміш.

При виникненні надзвичайної ситуації всі працівники повинні знати порядок дій, включаючи евакуацію, використання засобів пожежогасіння та виклик екстрених служб [39].

Висновки

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, здоров'я персоналу та охорони довкілля під час термічної обробки металів. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища, такі як висока температура, хімічно активні речовини, рухомі частини обладнання, шум, електромагнітне випромінювання тощо. Підкреслено важливість дотримання вимог безпеки до обладнання, електроустановок, організації робочого місця та використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Висвітлено питання мікроклімату, освітлення, захисту від шуму та медичного забезпечення працівників.

Розглянуто вплив процесів термічної обробки на довкілля, включаючи забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів та утворення відходів. Запропоновано заходи щодо попередження забруднення, такі як газоочищення, очищення стічних вод, управління відходами та енергозбереження. Підкреслено важливість впровадження екологічно чистих технологій та раціонального використання ресурсів.

Також розглянуто питання пожежної та вибухобезпеки у термічних цехах. Визначено основні причини пожеж та вибухів, а також запропоновано заходи щодо їх попередження, включаючи використання систем пожежогасіння, контроль горючих матеріалів, вентиляцію та контроль концентрації кисню.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішене питання, щодо дослідження впливу параметрів процесу карбонітрації на підвищення поверхневої твердості та зносостійкості корозійностійких сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-III.

1. Аналітика існуючих на сьогодні методів покращення властивостей матеріалів, що працюють в умовах тертя і за умов агресивних середовищ

2. Результати роботи отримані як комплексний аналіз, який включає металографічний, дюрOMETричний та визначення зносостійкості. Аналіз впливу карбонітрації на зносостійкість проводили теоретично і практично. Власне розроблене програмне забезпечення дозволяє спрогнозувати величину зносу ваговим методом.

3. Проведена в роботі термічна обробка сталей призводить до формування структури основи: мартенсит відпуску, карбіди. Твердість основи становить 30-40 HRC. Запропонований в даній роботі метод карбонітрації проводили в розчині 75-85% KNCО + 25-15% K₂CO₃ при температурі 580⁰ С впродовж 9 годин. В результаті карбонітрації сталі 14X17H2 на поверхні формується захисний шар товщиною 40-50 мкм мікротвердістю 800-900 HV, на сталі 15X16K5H2MBФAB-III шар товщиною 30-40 мкм мікротвердістю 1000-1200 HV.

4. Отримали підтвердження правильності рекомендованої тривалості карбонітрації в 9 годин. Визначення базувалось на порівнянні товщини і мікротвердості покриттів після ХТО впродовж 7, 9 та 11 годин насичення.

5. Теоретично встановлено, що карбонітрація сталей 14X17H2 та 15X16K5H2MBФAB-III призводить до збільшення зносостійкості в умовах тертя ковзання без змащування. Практично підтверджено, що максимальна стійкість зафіксована на сталі 15X16K5H2MBФAB-III і вона в 1,3-1,5 разів більша ніж

зностійкість сталі 14X17H2 після карбонітрації. Тенденція до зносу теоретично і практично отриманих результатів є однаковою.

6. Обґрунтовано економічну ефективність дослідження. Загальна сума витрат становить 12445,7 грн. Економічний ефект від впровадження технології термічної обробки оцінено на рівні до 20% економії від базової вартості виготовлення деталей завдяки покращенню їх довговічності та фізико-механічних властивостей.

7. Розглянуто питання охорони праці, здоров'я персоналу та охорони довкілля під час термічної обробки металів, зокрема небезпечні фактори виробничого середовища та заходи для їх мінімізації. Окрему увагу приділено екологічним аспектам, попередженню забруднення довкілля та пожежній безпеці, зокрема впровадженню сучасних систем захисту та екологічно чистих технологій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Quadri, T. W., Akpan, E. D., Olasunkanmi, L. O., Fayemi, O. E., & Ebenso, E. E. (2022). Fundamentals of corrosion chemistry. In Environmentally Sustainable Corrosion Inhibitors (pp. 25-45). Elsevier.
2. Малащенко, В. О. (2017). Корозійностійкі сталі та сплави в хімічних виробництвах: властивості, застосування, корозійна стійкість. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна.
3. Паладійчук, Ю. Б., Гуцаленко, О. В., & Чорна, Т. В. (2012). Методи та засоби при експлуатаційній обкатці машин та механізмів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, (10 (2)), 110-113.
4. Вплив легуючих елементів на корозію нержавіючих сталей в озонуємом середовищі / Г.О. Татарченко, М.В. Білошицький, Н.І. Білошицька, П.Є. Уваров // Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Суми, 22-26 травня 2017 р. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, К.О. Дядюра. – Суми: СумДУ, 2017. – С. 149-152.
5. Афтандіянц, Є. Г. Матеріалознавство : підруч. / Є. Г. Афтандіянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько. — К. : Олді-плюс, 2012. - 612 с
6. Кузін О. С. Матеріалознавство та термічна обробка металів : підруч. / О.С. Кузін, Р.В. Янцюк — К. : Афіша, 2002. -304с
7. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
8. Негреба Н. Ю., Харченко Н. А., Руденко Л. Ф. Карбонітрація сталей // Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 10 : матеріали Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 10-11 грудня 2020 р. Київ : Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", 2020. С. 142.

9. Кривчик, Л. С., & Хохлова, Т. С. Використання хіміко-термічної обробки з метою покращення експлуатаційних властивостей інструмента для пресування нержавіючих труб. Сучасний рух науки: тези доп. XI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 8-9 жовтня 2020 р.–Дніпро, 2020.–Т. 1.–440 с., 347.
10. Антонюк В.С. Залишкові напруження в вакуум-плазмових покриттях TiN, (TiAl)N, (TiC)N / В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, А.В. Рутковський, В.І. Мірненко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2004. – № 7(77) (Частина 2). – С. 206–210.
11. Хільчевський В.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Підручник. - К.: Либідь, 2006. - 328 с.
12. Власенко, А. М. Вступ до матеріалознавства, : навчальний посібник / А. М. Власенко. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 74 с.
13. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. - Львів: Світ, 2006. - 552 с.
14. Мовчан В.П. Основи металознавства: Навчальний посібник. - К.: Техніка, 2007. - 336 с.
15. Будник А.Ф. Металознавство: Підручник. - К.: Знання, 2005. - 359 с.
16. Смирнов В.А. Металознавство і термічна обробка металів: Підручник. - К.: Вища школа, 2005. - 423 с.
17. Сігова В.І., Руденко П.В. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.].
18. Матеріалознавство. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / В.С. Богомолів, В.В. Доценко та ін. - К.: Арістей, 2006. - 444 с.
19. Технологія металів і конструкційні матеріали: підручник / М.А. Сологуб, І.О. Фролов та ін. - К.: Вища школа, 2005. - 328 с.
20. Писаренко, В. М., Ковальчук, О. В. Матеріалознавство: підручник. — Київ: Либідь, 2014. — 512 с.

21. Frolov V.V. Teoriia termichnoi obrobky metaliv: Pidruchnyk. - M.: Metalurhiia, 2007. - 424 s.
22. Lakhtyn Yu.M. Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv: Pidruchnyk. - M.: Mir, 2006. - 448 s.
23. Bernshtein M.L., Rakhshadt A.H. Metaloznavstvo ta termichna obrobka stali: Dovidnyk. - M.: Mashynostroenye, 2005. - 784 s.
24. Huliaeв A.P., Dubynyn H.N., Bendyna N.A. Khimiko-termichna obrobka metaliv: Dovidnyk. - M.: Mashynostroenye, 2005. - 448 s.
25. Воронцов В.Л., Коржов Ю.М. Хіміко-термічна обробка металів: Навчальний посібник. - К.: НТУУ "КПІ", 2006. - 240 с.
26. Novykov Y.Y. Teoriia termichnoi obrobky metaliv: Pidruchnyk. - M.: Metalurhiia, 2007. - 480 s.
27. Гольдштейн М.И., Рахштадт А.Г. Матеріалознавство: Підручник. - М.: Мір, 2006. - 496 с.
28. Ковальченко М.С., Матвеев В.А., Самсонов Г.В. Зносостійкі матеріали: Довідник. - К.: Техніка, 2007. - 304 с.
29. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С.Ф. Покропивного. - К.: КНЕУ, 2006. - 528 с.
30. Організація виробництва: Підручник / За ред. О.В. Прокопенка. - К.: КНЕУ, 2007. - 456 с.
31. Економічний аналіз: Навчальний посібник / За ред. М.А. Болюха. - К.: КНЕУ, 2005. - 544 с.
32. Фінанси підприємств: Підручник / За ред. А.М. Поддєрьогіна. - К.: КНЕУ, 2006. - 480 с.
33. Економічна частина металообробки: "Економіка металургійної промисловості" під ред. В.П. Лялька (2007)

34. Охорона праці в галузі: Конспект лекцій та методичні вказівки з виконання контрольних робіт для студентів технічних вузів/ Укл.: О.М. Савчук. – Запоріжжя: Просвіта, 2003. – 164 с.;
35. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. На заміну ДСТУ OHSAS 18001:2010 (OHSAS 18001:2007, IDT) «Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги» ; чинний від 2019-12-26. Вид. офіц. К. 39 с.
36. СТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. На заміну ДСТУ 2293-93 ; чинний від 1999-01-01. Вид. офіц. К, 1999. 22 с.
37. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу" : наказ від 08.04.2014 № 248. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE25249?an=2>.
38. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький – Львів : Афіша, 2012. – 318 с.
39. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. К, 1991. 26 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>.

ДОДАТОК Б



ДОДАТОК В

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
У ПРОМИСЛОВИМУ
ВИРОБНИЦТВІ**

МАТЕРІАЛИ
та програма

X Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.)

Суми
Сумський державний університет
2023

**РОЗРОБКА СУЧАСНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ
«ГОЛКА ДОЗУЮЧА»**

*Піменов О. О., студент гр. МБ-91/1 МТ,
Чумаков Д. С., аспірант гр. А-15МТ, Назаренко І. В., аспірант гр. А-25МТ,
Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ*

Дана робота присвячена вдосконаленню технології виготовлення і термічної обробки деталі «дозуюча голка», яка застосовується в літакобудуванні.

Деталь «дозуюча голка» – це елемент паливної системи, призначений для регулювання подачі палива до двигуна. Вона є однією з ключових деталей в авіаційному та ракетному будівництві, оскільки від точності та надійності її роботи залежить безпека польотів та економія палива [1]. У якості основного матеріалу для виготовлення деталі «голка дозуюча» використовується високолегована нержавіюча сталь 14X17H2. Основним легуючим елементом сталі є хром. Підраховано, що дана сталь відноситься до перехідного класу аустеніт-мартенсит-ферит. Одночас треба зазначити, що частка фериту в структурі становить 7,22%. Нержавіючі сталі мають високу корозійну стійкість, але вони також мають певні недоліки, такі як низька міцність та жорсткість [2]. Термічна обробка дозволяє підвищити міцність та жорсткість нержавіючих сталей, покращити їх стійкість до міжкристалітної корозії та зносу, що робить їх більш ефективним та довговічним матеріалом. Застосування термічної обробки є особливо актуальним для нержавіючих сталей [3].

В даній роботі запропоновано реалізувати комплексний метод термічної та хіміко-термічної обробки, що включає попередню термічну обробку для підготовки основи: відпал при температурі 800°C 10-20 годин, гартування при 1020-1050°C 30 хвилин та відпуск при 600°C 5 годин. На першому етапі хіміко-термічної обробки реалізовували рідинне азотування. Азотування проводили в розчині солі KCN при температурі 550 впродовж 2 годин. Основною операцією даної роботи є цементація. Пропонуємо реалізувати даний етап за сучасною технологією в вакуумі, в середовищі метану при температурі 1050 під тиском 15-35 ГПа, впродовж 30 хвилин. Після цементації обов'язковим етапом обробки була остаточна термічна обробка, яка складалася з гартування при 1000°C впродовж 30 хвилин та низький відпуск при 200°C.

Визначена твердість після відпалу – 255 НВ, після повної попередньої термічної обробки 27,5-28 НRC. Після азотування та цементації визначена твердість поверхнього шару. Твердість після азотування у різних шарах має такі значення: Fe₃N – 6-8 ГПа, Fe₄N – 12-14 ГПа. Значення твердості карбонітридного шару після цементації 17-19 ГПа.

Отримані результати говорять про перспективність використання нержавіючої сталі 14X17H2 в якості матеріалу заготовки і впровадження даної технології термічної обробки деталі «голка дозуюча».

Список літератури

1. В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, А.І. Долматов та ін. Технологія виробництва авіаційних двигунів: підручник для студентів вищ. навч. закладів. Ч. 4. Складання авіаційних двигунів / ред. В.О. Богуслаєва. – Запоріжжя: Мотор Січ, 2013. – 328 с. - Дар ВАТ "Мотор Січ".
2. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ, 2012, 171 с.
3. О.А. Кузін, Р.А. Яцюк. Металознавство та термічна обробка металів / Підручник. Львів: Афіша. – 2002, 300 с.